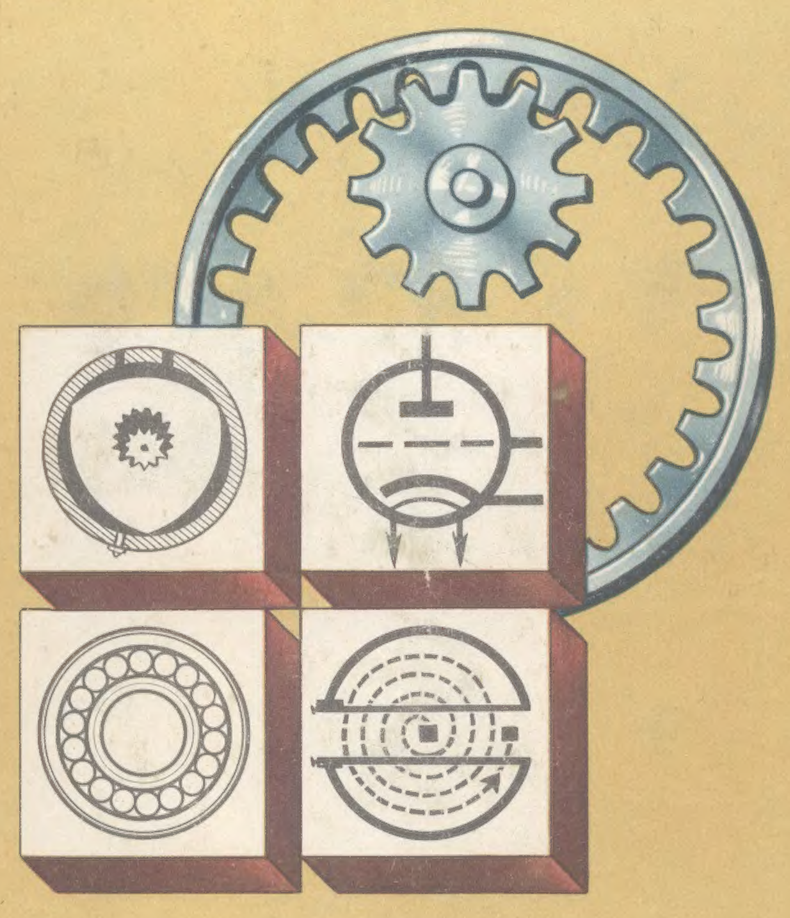
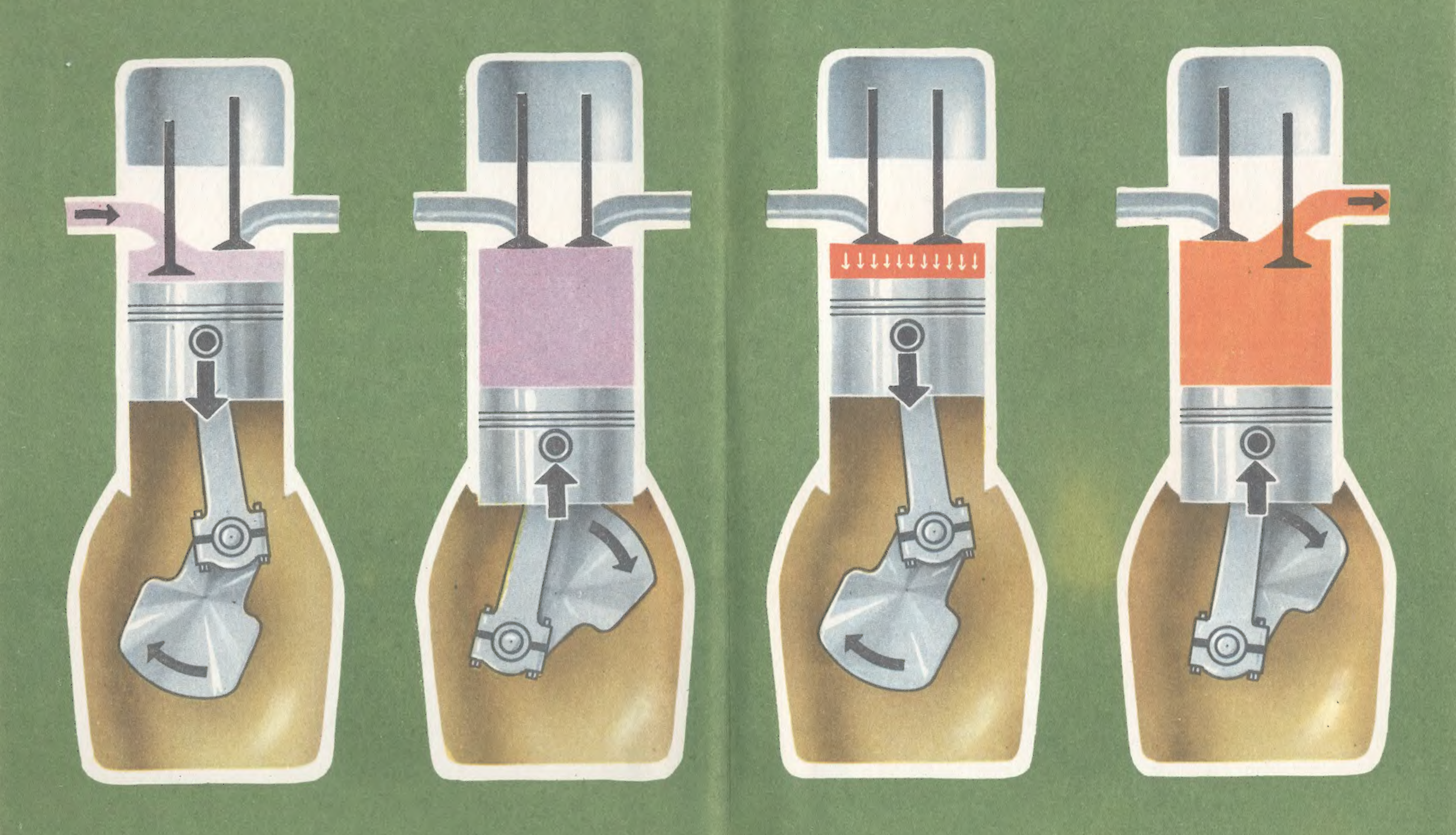
А.Т.Глазунов • Техника в курсе физики средней школы

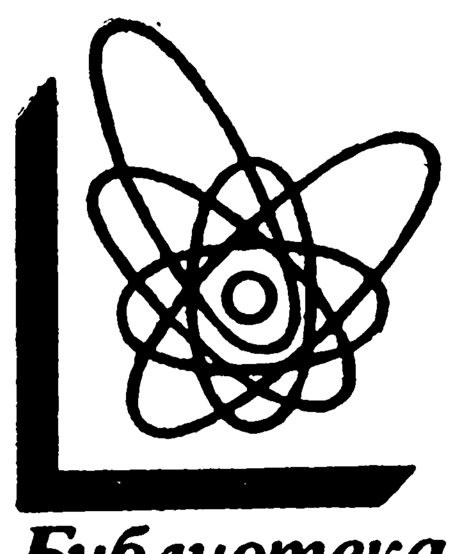
Библиотека учителя физики



А.Т.Глазунов

Техника в курсе физики средней школы

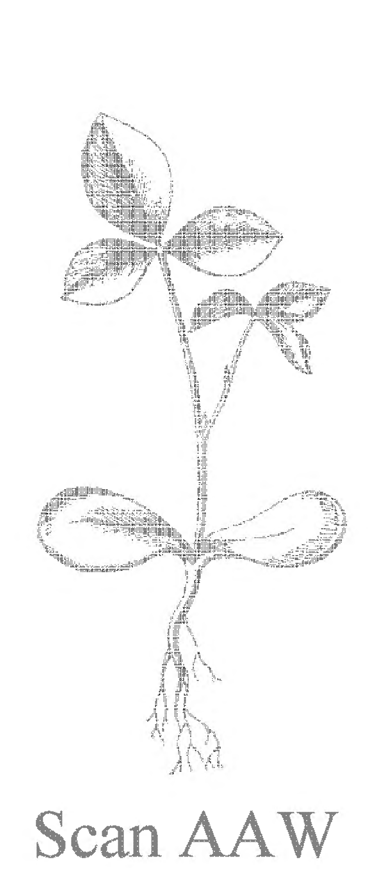




Библиотека учителя физики

А.Т. Глазунов

Техника в курсе физики средней школы



МОСКВА, «ПРОСВЕЩЕНИЕ», 1977

*Рекомендовано к изданию
Главным управлением школ
Министерства просвещения СССР*

Глазунов А. Т.
Г52 Техника в курсе физики средней школы. М., «Просвещение», 1977.

159 с. с ил. (Б-ка учителя физики).

В книге изложены принципы современной техники и технологии применительно к школьному курсу физики, подобраны примеры, иллюстрирующие практическое использование законов физики в конкретных технических установках.

Г $\frac{60501-588}{103(03)-77}$ подписное 53

ПРЕДИСЛОВИЕ

Программа по физике открывает широкие возможности для осуществления принципа политехнизма. При этом важной задачей является отбор технического материала, который должен быть изучен в курсе физики. Очевидно, критерием для отбора политехнического материала могут служить значимость соответствующих разделов техники и технологии в современном производстве и основные перспективы их развития.

Сопоставление главных направлений научно-технического прогресса и разделов школьного курса физики позволяет определить конкретный технический материал для изучения в курсе физики VIII—X классов. Оформленный в виде таблиц и схем, этот материал приведен в главах пособия, посвященных изучению техники в соответствующих разделах школьного курса физики. Для глубокого усвоения вопросов техники важно как можно шире использовать физические знания учащихся, заострять внимание на физической стороне дела. Без вполне конкретных физических знаний невозможно понять устройство и принцип работы технических установок.

Реализация политехнического принципа предполагает широкие межпредметные связи, так как работа большинства современных технических устройств основана не только на законах физики, но и многих положениях химии, биологии и других наук. В пособии рассмотрены также вопросы истории техники; знакомство с ними поможет учащимся понять те существенные черты, которые отличают современную технику от техники прошлого. Кроме того, это даст возможность показать, что принципиально новые технические устройства часто оказывали огромное влияние на жизнь общества.

Материал по технике, содержащийся в пособии, может быть использован не только на уроках, но и на факультативных и кружковых занятиях, причем в пособии в каждом отдельном случае оговаривается, где и когда должен рассматриваться данный материал.

Важным моментом закрепления и углубления изученного материала является решение задач с техническим содержанием, они также представлены в пособии.

В конце каждого параграфа указывается объем знаний, которые учащиеся должны приобрести после его изучения.

ГЛАВА I

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАКОНОВ МЕХАНИКИ

Все разделы современной физики тесно связаны с техникой, однако механика занимает здесь особое место, так как именно развитие механики в течение тысячелетий определяло технический прогресс,— законы механики воплощались во всех технических устройствах. Принципы механики лежат в основе работы транспортных, строительных, сельскохозяйственных машин. Авиационная и космическая техника появилась благодаря развитию механики. На преобразовании механических форм движения основано действие многих энергетических устройств (гидроэлектростанций, ветроэнергетических установок и т. д.).

Содержание раздела «Механика», изучаемого в курсе физики VIII класса средней школы, дает возможность разобрать ряд технических вопросов механизации, авиации, космонавтики, энергетики. Анализ этого раздела позволяет определить конкретный материал для изучения (см. табл. 1).

§ 1. ПЕРЕДАЧА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

При изучении вращательного движения по учебнику физики для VIII класса учащиеся знакомятся с основными величинами, характеризующими кинематику вращательного движения: углом поворота, угловой и линейной скоростью, периодом и частотой вращения. Завершить это изучение нужно техническим обобщением материала, разбором одного или нескольких видов передач вращательного движения, их основных характеристик и применений. Важность изучения этих вопросов в курсе физики связана с тем, что сейчас нет по существу ни одного технического устройства, в котором бы не использовался принцип передачи вращательного движения.

Таблица 1

Раздел курса физики	Раздел техники	Конкретный технический материал
Механика	Механизация	Передача вращательного движения; центробежные и строительные механизмы; подшипники качения и скольжения
	Авиация и космонавтика	Подъемная сила крыла самолета; принципы реактивного движения; искусственные спутники Земли; значение работ К. Э. Циолковского для космонавтики; успехи СССР в освоении космического пространства
	Энергетика	Ветро- и гидроэнергетика

На уроке следует подробно рассмотреть один тип передачи (например, фрикционные передачи), а с другими видами передач учащихся можно ознакомить на факультативных занятиях.

Фрикционные передачи являются наиболее простыми по устройству и принципу работы. Как правило, фрикционная передача осуществляется с помощью двух цилиндрических катков (рис. 1), один из которых ведущий, т. е. на него действует вращающий момент, а другой — ведомый. Движение от ведущего катка к ведомому передается за счет трения между ними.

Учащимся нужно сообщить, что увеличение силы трения возможно при увеличении давления катков друг на друга или применении специальных фрикционных материалов с большим коэффициентом трения. Как правило, один из катков фрикционных передач делают из стали. Для увеличения коэффициента трения обод другого катка выполняют из текстолита, фибры, резины или пластмассы. Однако в последнем случае выигрыш в коэффициенте трения приводит к уменьшению прочности конструкции, а это не всегда пригодно в целом ряде технических устройств.

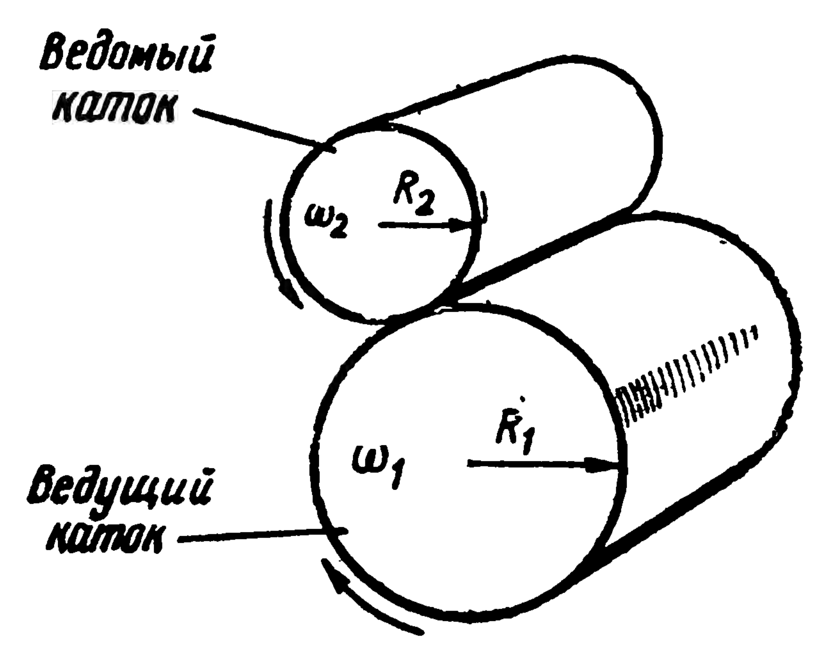


Рис. 1. Цилиндрическая фрикционная передача.

Важно, чтобы учащиеся усвоили, что основной характеристикой любой передачи служит передаточное число i, которое определяется отношением угловых скоростей ведущего и ведомого катков. Пере-

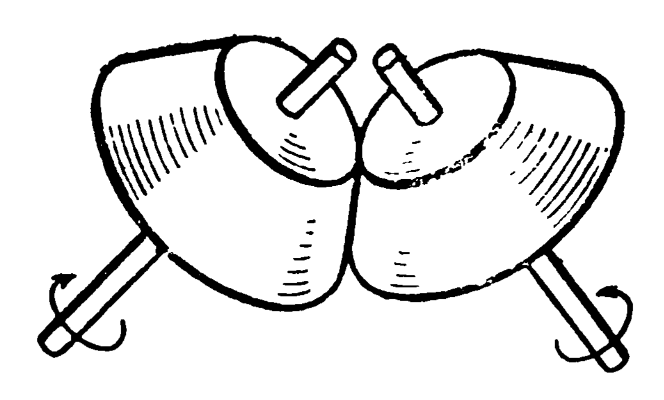


Рис. 2. Коническая фрикционная передача.

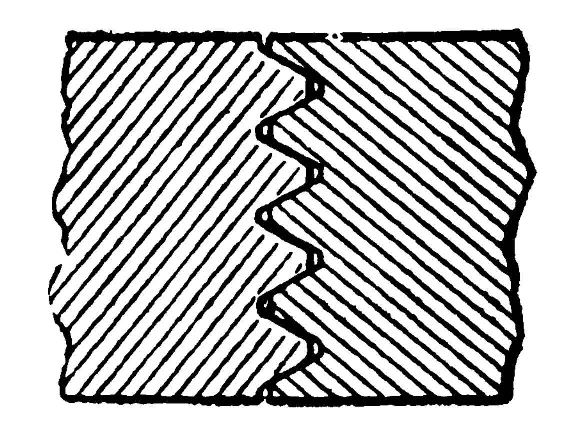


Рис. 3. Клиновые канавки фрикционных катков.

даточное число фрикционной передачи с цилиндрическими катками находят следующим образом:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v_1}{R_1} \cdot \frac{R_2}{v_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

(здесь учтено, что линейные скорости вращения ведущего и ведомого катков v_1 и v_2 равны).

Передаточное число обычных цилиндрических фрикционных передач не превышает 7; скорость 20 м/с; передаваемая мощность 20 кВт. КПД передачи колеблется в пределах 0,80—0,95.

Фрикционные передачи в современной технике применяются как для передачи небольших мощностей (например, привод механизма намотки ниток в швейных машинах), так и для передачи довольно больших мощностей (в бумагоделательных и печатных машинах).

Кроме фрикционной передачи цилиндрическими катками, желательно рассмотреть передачи коническими катками (рис. 2), а также передачи цилиндрическими катками с канавками, выполненными в форме клина. В передачах с клиновыми канавками (рис. 3) за счет выигрыша в силе на клине создается большая сила трения, что значительно увеличивает зацепление. Однако такие передачи очень быстро изнашиваются.

Ременные передачи. В ременной передаче (рис. 4) движение от ведущего вала к ведомому передается при помощи рем-

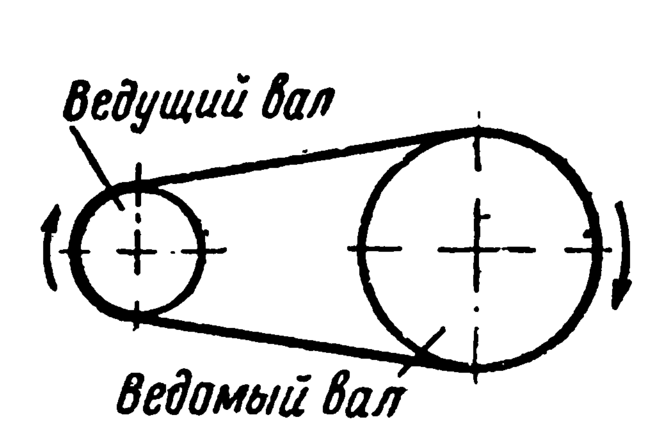


Рис. 4. Ременная передача.

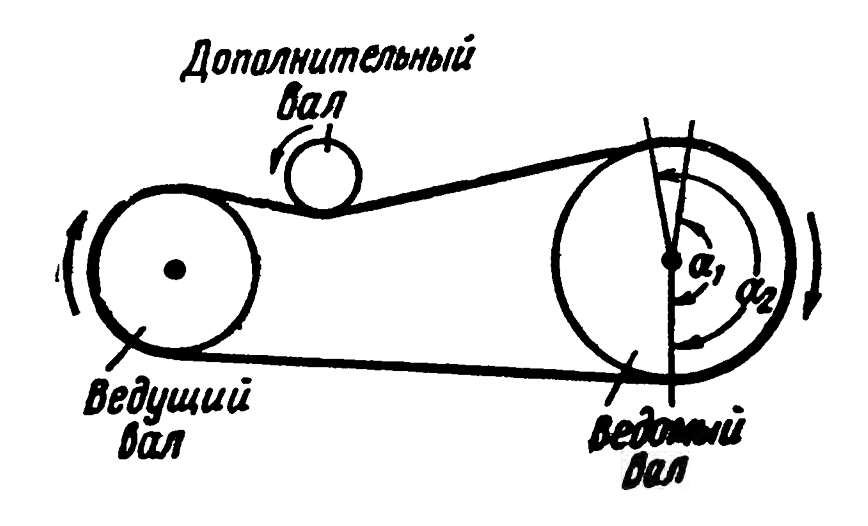


Рис. 5. Один из способов увеличения угла обхвата в ременной передаче.

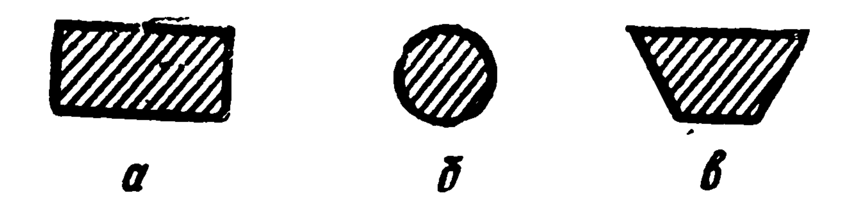


Рис. 6. Сечения ременных передач:
а — плоское; *б* — круглое; *в* — коническое.

ня за счет сил трения. Передаточное число для ременной передачи определяется так же, как и для фрикционной, по формуле:

$$i = \frac{R_2}{R_1}.$$

И в случае ременной передачи эффективность передачи определяется силой трения, для увеличения которой необходимо подбирать материалы обода и ремня, обладающие большим коэффициентом трения, и увеличивать натяжение ремня.

Хлопчатобумажные и прорезиненные ремни со стальным или чугунным ободом имеют коэффициент трения 0,2—0,3, кожаные и шерстяные — 0,25—0,40. КПД ременных передач составляет 0,90—0,98. Мощность, передаваемая плоскоременными передачами, обычно не превышает 50 кВт.

Чтобы увеличить силу трения при передаче, увеличивают угол обхвата α, для чего применяют отклоняющие шкивы, или нижнюю часть ремня делают набегающей, а верхнюю — сбегающей. На рисунке 5 показано, как с помощью дополнительного вала можно увеличить угол обхвата ($\alpha_2 > \alpha_1$), что дает выигрыш в силе трения.

Кроме простой открытой ременной передачи (см. рис. 4), полезно рассмотреть и другие виды ременных передач.

Для осуществления передачи между скрещивающимися валами применяют полуперекрестную передачу. Если необходимо, чтобы шкивы вращались в разные стороны, ставят перекрестную передачу. Ремни могут быть плоскими, круглыми или коническими (рис. 6, *а, б, в*). Клиновая форма ремня позволяет за счет выигрыша в силе, даваемого клином, получить гораздо бóльший коэффициент сцепления с ободом шкива.

В заключение разбора ременных передач следует сообщить, что ременные передачи применяются в тех случаях, когда требования к постоянству передаточного числа механизма не очень строгие. Они используются в деревообрабатывающих и металлорежущих станках, тракторах, автомобилях, печатных и швейных машинах.

Весьма полезной может быть демонстрация диапозитива[1] «Ленточный транспортер», на котором показан ленточный транспортер, в работе которого используется принцип ременной передачи.

Зубчатые передачи. Если во фрикционной передаче гладкую поверхность обода заменить зубьями, то получится зубчатая пе-

[1] Список упоминаемых в книге диапозитивов, диафильмов и кинофильмов имеется в пособии для учителей «Учебное оборудование по физике в средней школе» (под ред. А. А. Покровского). М., «Просвещение», 1973.

редача, отличающаяся от фрикционной тем, что в ней вращательное движение передается не трением, а зацеплением, возникающим из-за давления зубьев ведущего колеса на зубья ведомого (рис. 7). Передаточное число зубчатой передачи определяется так:

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1},$$

где d_1 и d_2, Z_1 и Z_2 — соответственно диаметры начальных окружностей и числа зубьев ведущего и ведомого колес.

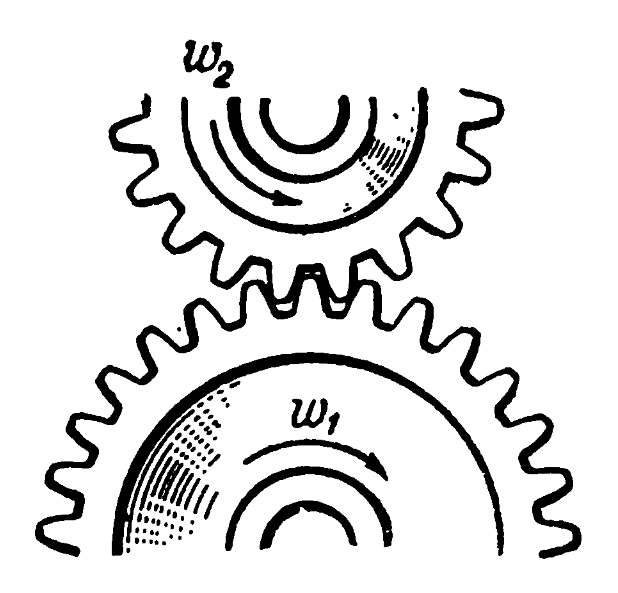


Рис. 7. Зубчатая передача с внешним зацеплением.

В передачах с внутренним зацеплением одно колесо размещено внутри другого (рис. 8), при этом зубья меньшего колеса расположены на наружной поверхности цилиндра, а зубья большего — на внутренней. Зубья меньшего колеса имеют выпуклый профиль, а зубья большего — вогнутый. Такая передача более компактна, чем передача с внешним зацеплением. (Применение передачи с внутренним зацеплением далее рассмотрено при разборе работы двигателя внутреннего сгорания Ванкеля.)

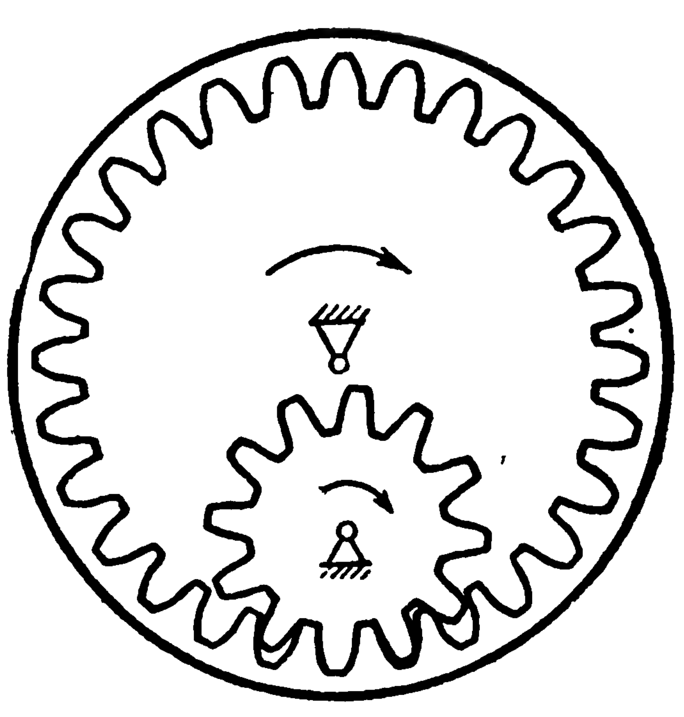


Рис. 8. Зубчатая передача с внутренним зацеплением.

Для передачи движения между пересекающимися осями служат конические передачи (рис. 9), в которых зубья нанесены на конические поверхности. Наибольшее распространение получили передачи с межосевым углом, равным 90°, хотя иногда применяются передачи и с другими углами. Весьма распространены винтовые (рис. 10) и червячные передачи.

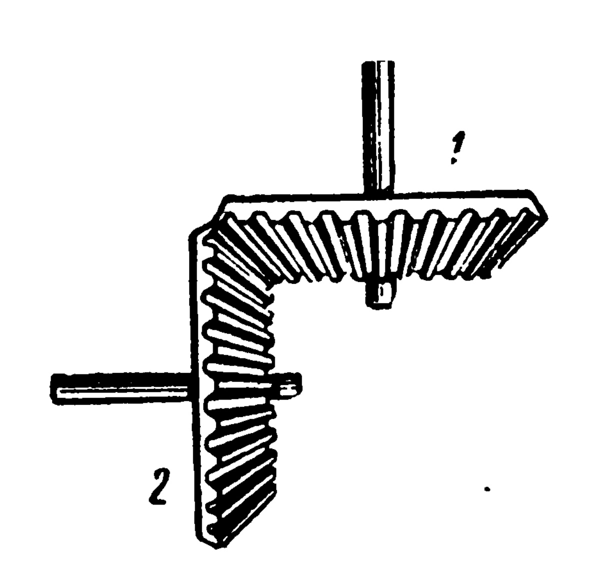
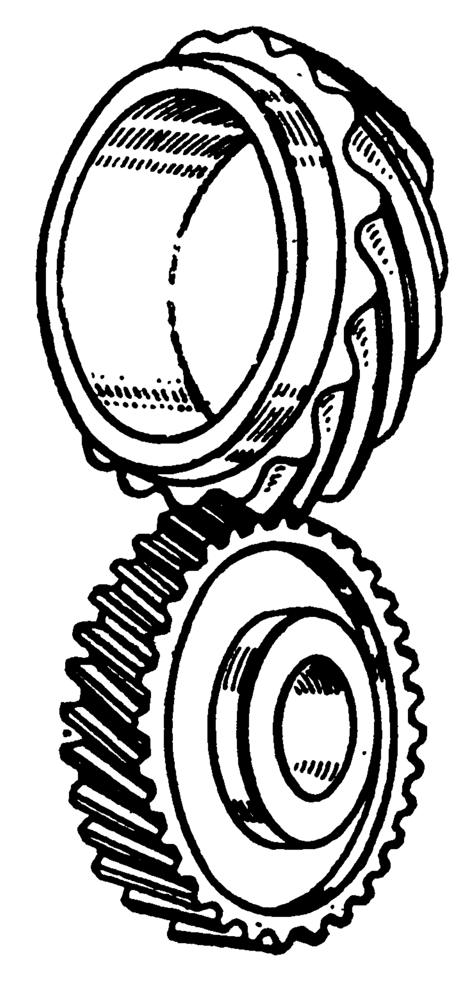


Рис. 9. Коническая зубчатая передача:
1 — ведущая шестерня;
2 — ведомая шестерня.

Учащимся можно рассказать, что одним из первых, кто разработал основные элементы зубчатой передачи, был гениальный художник и ученый итальянского Возрождения Леонардо да Винчи.


Рис. 10. Винтовая передача.

На примере зубчатой передачи следует ознакомить учащихся с использованием в технических устройствах принципиально новых материалов. Вместо стали, долгие годы применявшейся для изготовления передач, начинают применять полимеры, которые имеют много преимуществ. Прежде всего полимеры, будучи мягче металлов, гасят вибрации, что весьма важно для целого ряда установок. Кроме того, они не ржавеют, у них хорошие тепло- и электроизоляционные свойства. Важно и то, что полимерные зубчатые передачи гораздо легче изготавливать (их делают за один ход пресса, причем для изготовления одного вида шестерен необходима всего одна пресс-машина).

После изучения этого параграфа учащиеся должны знать, какие бывают передачи и где они используются.

ЗАДАЧИ

1. Рассчитайте, во сколько раз зубчатая передача ручной дрели увеличивает число оборотов, если ведущая шестерня имеет 90 зубьев, а ведомая — 15. (Ответ: в 6 раз.)

2. Определите, с какой линейной скоростью перемещается груз по транспортеру, если валик ременной передачи радиусом 0,4 м совершает 50 об /мин. (Ответ: $\approx 0,3$ м/с.)

3. Движение от вала двигателя мотоцикла передается цепной передачей (рис. 11). Ведущая звездочка имеет число зубьев $Z_1=24$, ведомая — $Z_2=72$. Определите, сколько оборотов в минуту делает ведомая звездочка, если ведущая вращается со скоростью $n_1=3000$ об/мин. (Ответ: 1000 об/мин.)

§ 2. СИЛА ТРЕНИЯ. КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ. ПОДШИПНИКИ

Трение — это механическое сопротивление, возникающее при относительном перемещении двух соприкасающихся тел в плоскости их касания. Различают трение скольжения и трение качения. Трение скольжения характеризуется коэффициентом трения скольжения μ — величиной, равной отношению силы трения к силе давления. Для характеристики трения качения вводится коэффициент трения качения, который определяется отношением момента силы трения качения к силе давления.

Сила трения качения в большинстве случаев ничтожна по сравнению с силой трения скольжения. Однако при больших скоростях качения, сравнимых со скоростью распространения деформации в теле, сопротивление качению резко увеличивается, и тогда выгодно переходить к трению скольжения.

Учащимся следует сообщить, что преимущества трения качения перед трением скольжения были поняты очень давно и, прежде всего, применительно к транспортной технике. Недаром изобретение колеса считается одним из интереснейших свершений человеческой мысли. Уже в III в. до н. э. колесницы были широко распространены в Месопотамии и Сирии.

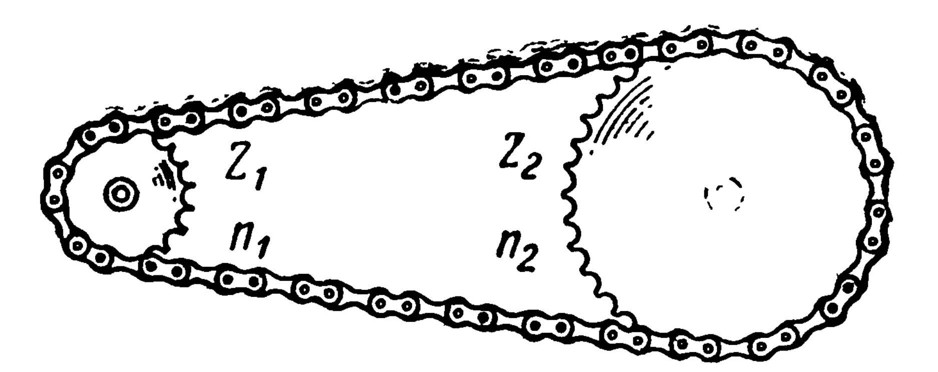


Рис. 11. Цепная передача мотоцикла.

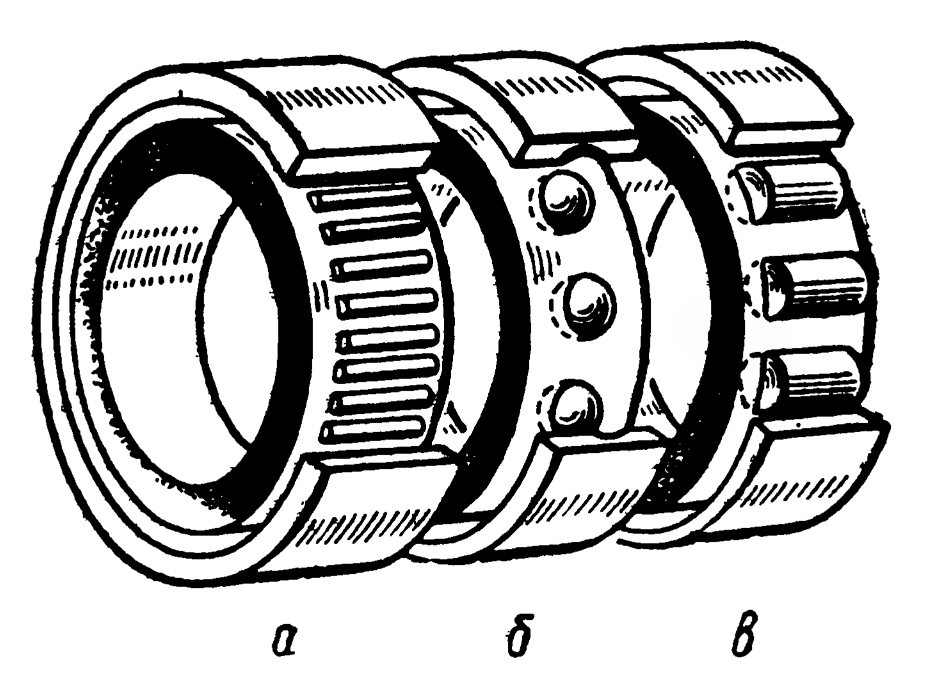


Рис. 12. Подшипники качения:
а — игольчатый; *б* — шариковый; *в* — роликовый.

Вредные проявления трения. Из опыта учащиеся знают, что трение между соприкасающимися поверхностями мешает их относительному перемещению, Учитель должен обратить их внимание на то, что во всех технических устройствах имеются трущиеся детали, следовательно, необходимо учитывать действие сил трения. Чем больше сила трения, тем меньше КПД машин и механизмов, так как энергия, затрачиваемая на преодоление трения, бесполезно рассеивается.

Один из способов уменьшения трения — это замена трения скольжения трением качения. Для этого применяют шарикоподшипники.

Шарикоподшипники скольжения были изобретены в середине XIX в. После их изобретения основная борьба шла за уменьшение коэффициента трения. Определенного прогресса здесь удалось достигнуть за счет применения материалов с небольшими коэффициентами трения, но главный выигрыш был получен после изобретения подшипников качения (рис. 12). Они позволили уменьшить коэффициент трения от 0,2 до 0,005. За несколько столетий до широкого использования шарикоподшипников Леонардо да Винчи высказал мысль об их применении и сделал чертеж шарикоподшипника. Устройство шарикоподшипника, предложенного им, принципиально ничем не отличается от современного подшипника качения.

Уменьшению трения способствует применение смазки. До недавнего времени в основном использовались смазки, содержащие растительные и нефтяные масла, сейчас они постепенно вытесняются синтетическими маслами. (Объяснение следует сопровождать показом диапозитива «Смазка уменьшает трение»).

Потребность техники привела к применению твердых смазок, а также к созданию специальных самосмазывающихся материалов. В качестве примера можно рассмотреть действие так называемой ротапринтной смазки, при которой шестерни вместо жидкой смазки пачкают специальной шестерней из самосмазывающегося материала, который переносится с одного зуба на другой (рис. 13). Коэффициент трения здесь уменьшается благодаря созданию защитной пленки.

Можно сообщить учащимся, что для уменьшения трения в ряде специальных устройств используются магнитные подвесы, позволяющие осуществлять вращение с угловой скоростью до $8 \cdot 10^5$ об/с — практически без трения.

Использование трения в технике. Конечно, нельзя делать вывод, что трение всегда вредно. Не говоря уже о том, что без трения оказался бы беспомощным при ходьбе человек, без учета сил трения нельзя объяснить движение тепловоза, автомобиля и других средств транспорта. За счет трения удерживаются бандажи на колесах, а колеса на вагонных осях. Пропускная способность железных дорог частично зависит от величины силы трения между колесом тепловоза и рельсом: чем трение больше, тем тяжелее и длиннее может быть железнодорожный состав.

На использовании трения основано действие различного рода тормозов: дисковых, ленточных, колодочных. Например, в ряде автомобилей колодки прижимаются к внутренней поверхности тормозного барабана, связанного с колесом. В тот момент, когда водитель нажимает на тормоза, кулачок поворачивается и плотно прижимает тормозные колодки к барабану, что приводит к резкому возрастанию коэффициента трения.

Трение используется при обработке металлов (давлением, резанием, шлифованием), в различных фрикционных устройствах (для передачи движения, усилий и при работе исполнительных органов). Довольно широко применяется сварка трением, позволяющая соединять металлы, которые невозможно сварить другим путем.

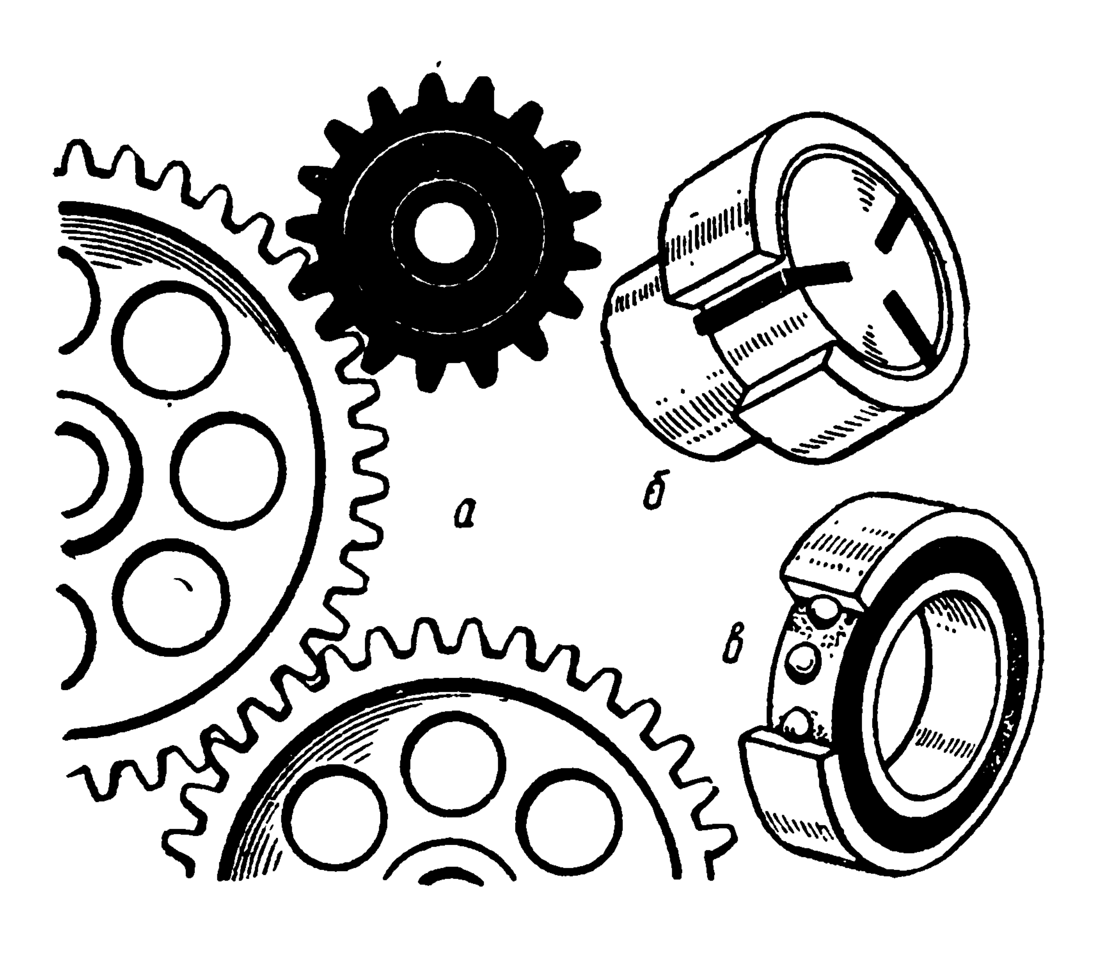


Рис. 13. Ротапринтная схема смазки:
а — для зубчатых шестерен; *б* — для подшипников скольжения; *в* — для подшипников качения.

Интересно используется трение в ряде сельскохозяйственных машин. Например, рабочим органом льнотеребилки является так называемый льнотеребильный ручей, состоящий из двух прижатых друг к другу бесконечных движущихся ремней. Во время движения льнотеребилки специальные делители наклоняют стебли к середине, где они захватываются ремнями и затягиваются в приемную щель теребильного ручья (рис. 14).

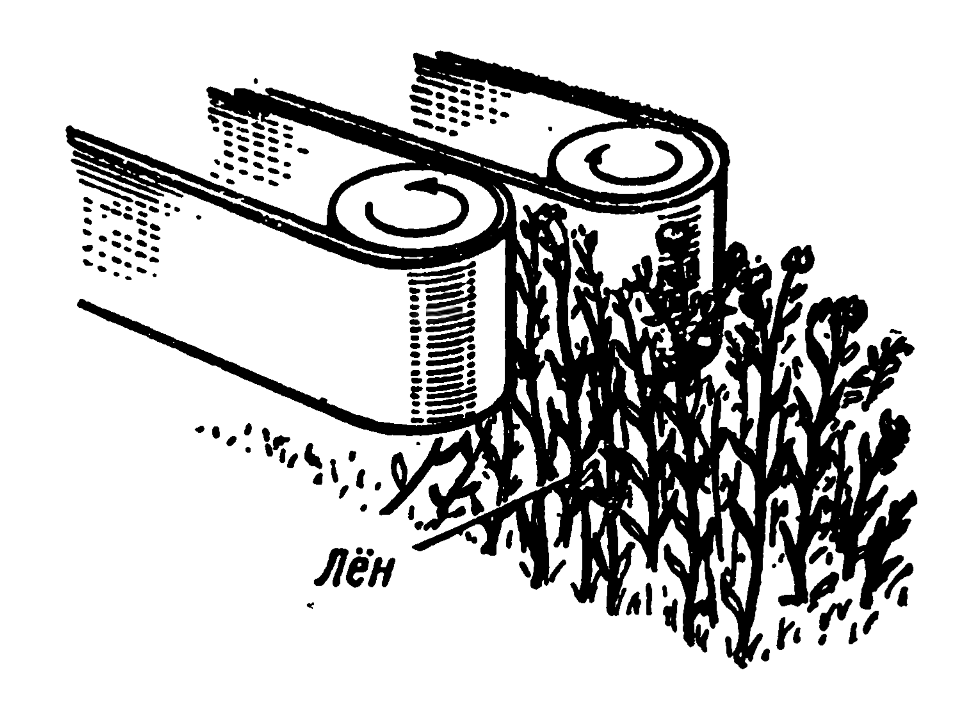


Рис. 14. Льнотеребильный ручей.

После изучения этого параграфа учащиеся должны понимать отличие силы трения скольжения от силы трения качения, уметь привести примеры технического использования трения.

ЗАДАЧИ

1. Почему на горизонтальной дороге нагруженный автомобиль буксует меньше порожнего? (Ответ: Сила трения прямо пропорциональна силе давления; она больше у нагруженного автомобиля, поэтому он меньше буксует.)

2. При торможении автомобиля тормозные колодки прижимаются к тормозному барабану с силой 2500 Н. Определите силу трения, возникающую при торможении, если коэффициент трения 0,4. (Ответ: 1000 Н.)

3. Тепловоз с постоянной скоростью 10 м/с двигается по горизонтальному участку пути с коэффициентом трения 0,002. Затем он переходит на участок пути, где коэффициент трения равен 0,005, при этом режим работы двигателя остался тем же. Определите, какой путь пройдет вагон до остановки. (Ответ: $\approx$1700 м.)

§ 3. ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

В различных технических устройствах и агрегатах широко применяются центробежные механизмы. В целом все системы, использующие центробежные механизмы, могут быть разделены на два класса:

1) автоматические устройства, в которых используются центробежные механизмы;

2) технические устройства и установки, действие которых основано на центробежном эффекте.

При разборе устройств первого класса нужно прежде всего остановиться на важнейшем принципе автоматического управления — обратной связи.

В любом автоматическом устройстве можно легко выделить входной сигнал (систему влияющих воздействий) и выходной сигнал (реакцию объекта на эти воздействия). Обратную связь

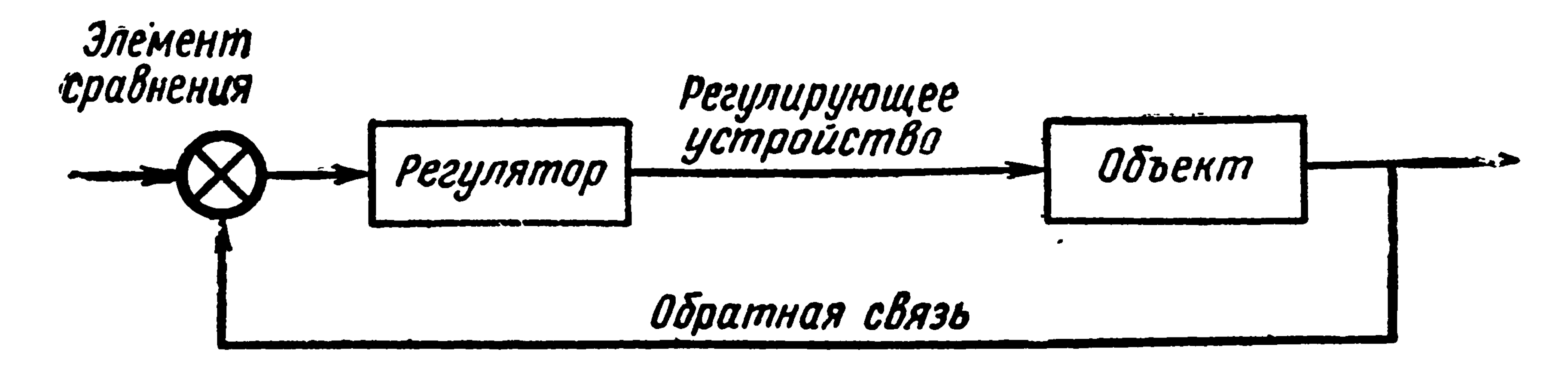


Рис. 15. Блок-схема автоматического регулирования с обратной связью.

определяют как воздействие выходного сигнала на входной. Если обратная связь противодействует причинам, вызвавшим изменение выходного сигнала, то ее называют отрицательной, если усиливает, усугубляет эти причины,— положительной.

Система автоматического управления, использующая обратную связь, представлена на рисунке 15 в виде блок-схемы.

Принцип обратной связи будет лучше усвоен учащимися, если после объяснения блок-схемы обратной связи это понятие пояснить на конкретной технической схеме, например при разборе действия центробежного регулятора Джеймса Уатта.

Центробежный регулятор, изобретенный Уаттом, представляет собой типичное автоматическое устройство, использующее обратную связь (рис. 16). Объектом регулирования является турбина паровой машины, а регулятором — рычаги с грузами, подвижно прикрепленными к стержню, вращающемуся от машины. При увеличении скорости вращения турбины возрастает сила, действующая на грузы, при этом приподнимаются рычаги. К этим грузам присоединена заслонка, которая при увеличении угловой скорости поднимается и уменьшает подвод пара, что приводит к уменьшению скорости вращения турбины. Здесь реализуется отрицательная обратная связь.

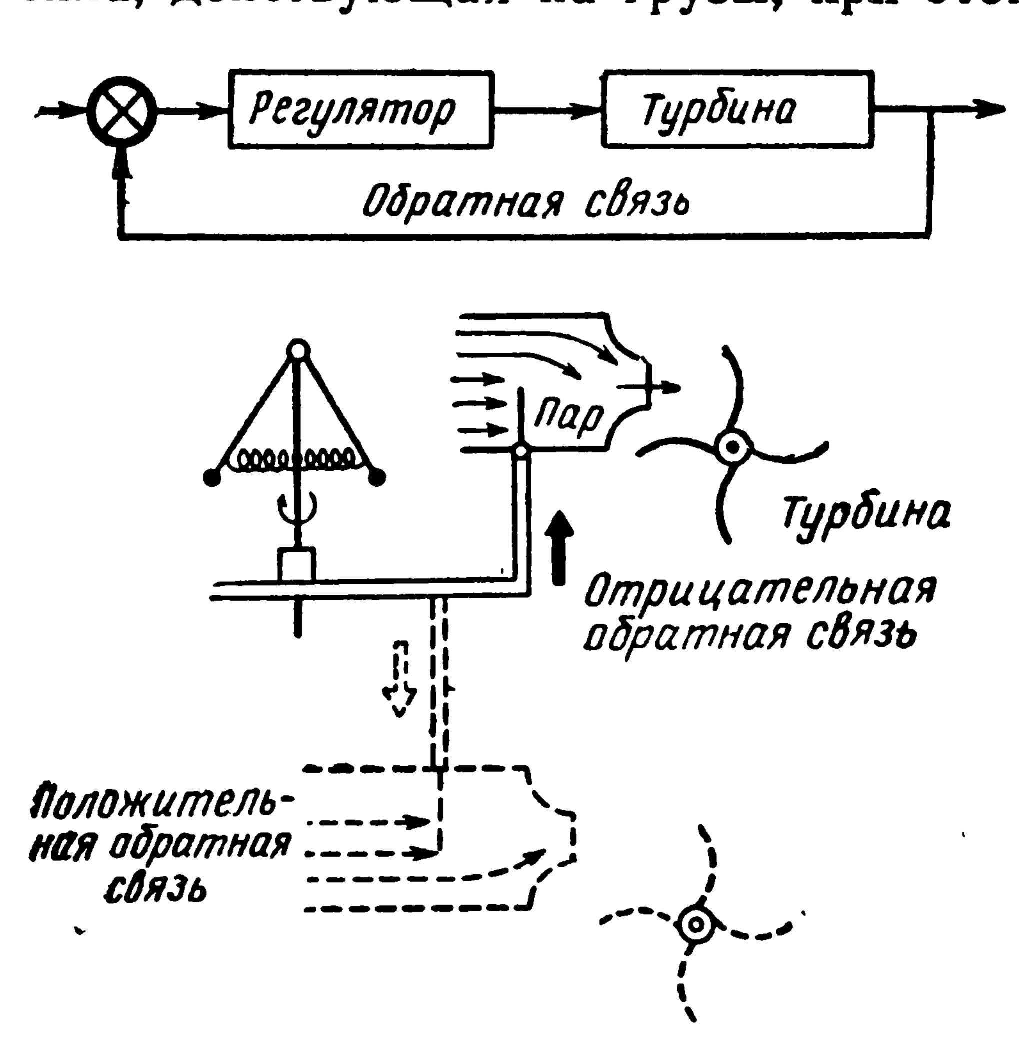


Рис. 16. Использование принципа обратной связи в центробежном регуляторе.

Центробежный регулятор учащимся нужно показать в работе, при этом следует подчеркнуть, что такой регулятор может обеспечивать и положительную обратную связь в том случае, когда при

возрастании скорости вращения заслонка открывается и обеспечивает еще бóльшую скорость вращения турбины паровой машины, что в свою очередь через систему обратной связи приводит к дальнейшему открыванию заслонки.

Полезно ознакомить учащихся с использованием центробежных регуляторов в автомобильных и тракторных двигателях.

На рисунке 17 показана схема регулирования числа оборотов тракторного двигателя. С валом центробежного регулятора связаны грузы *1*, которые с увеличением скорости вращения расходятся и отодвигают вправо муфту *2*; муфта через ролик *3* поворачивает поводок *4*, тяга которого изменяет положение заслонки *6*, что приводит к уменьшению подачи топлива. Пружина *5* связана с роликом и заслонкой. Когда скорость вращения уменьшается, грузы сближаются и заслонка открывается шире.

В целом ряде технических устройств применяются центробежные сепараторы, служащие для разделения смесей твердых или жидких тел. Сепараторы, в частности, используются для очистки смазочных масел или для отделения сливок от молока. В качестве примера можно рассмотреть принцип действия молочного сепаратора (рис. 18).

Молоко поступает в барабан, вращающийся со скоростью ≈10 000 об/мин, по неподвижной трубке *1*. В барабане вращаются тарелки *2*, между ними имеется зазор около 0,5 мм. В тарелках сделаны сквозные отверстия, через которые проходит молоко. При вращении барабана менее плотные жировые шарики скапливаются около его оси, а плотная обезжиренная часть (обрат) оттесняется от оси. Жировые шарики сгущаются в сливки, которые выходят из барабана через отверстие *3*. Отверстие *4* служит для выхода снятого молока. Сепаратор позволяет разделять до 5000 л молока в час.

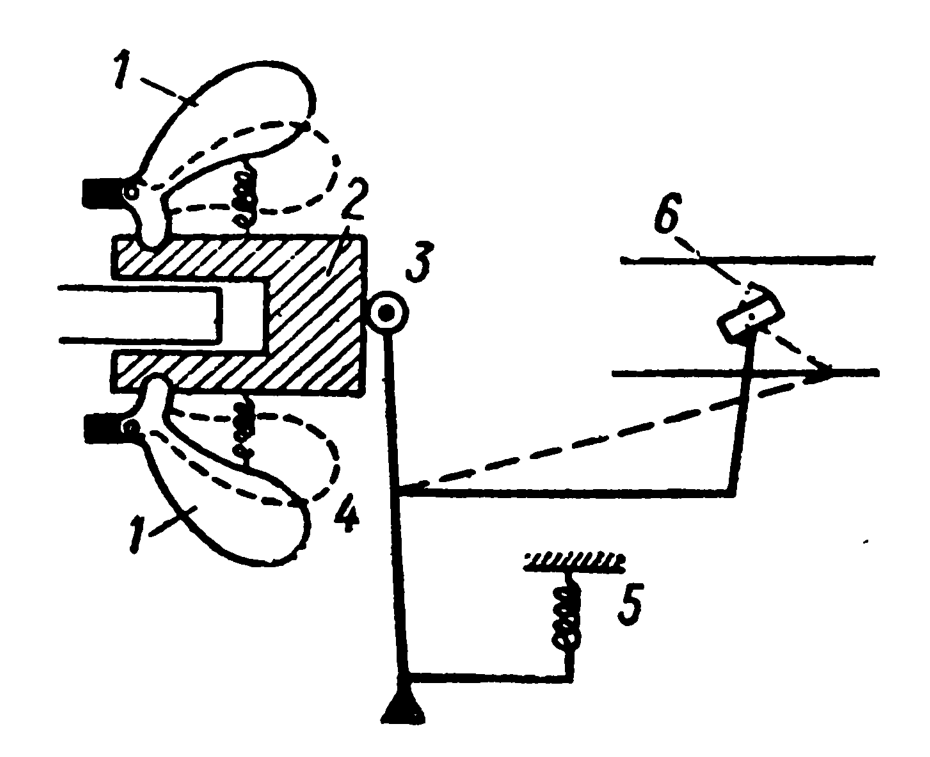


Рис. 17. Центробежный регулятор тракторного двигателя:

1 — грузы; *2* — муфта; *3* — ролик; *4* — поводок; *5* — пружина; *6* — заслонка.

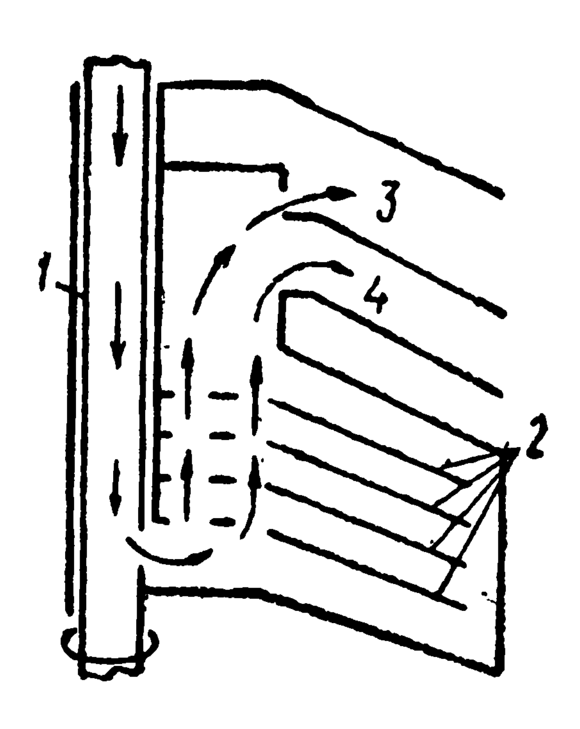


Рис. 18. Устройство молочного сепаратора:

1 — трубка; *2* — тарелки; *3—4* — отверстия.

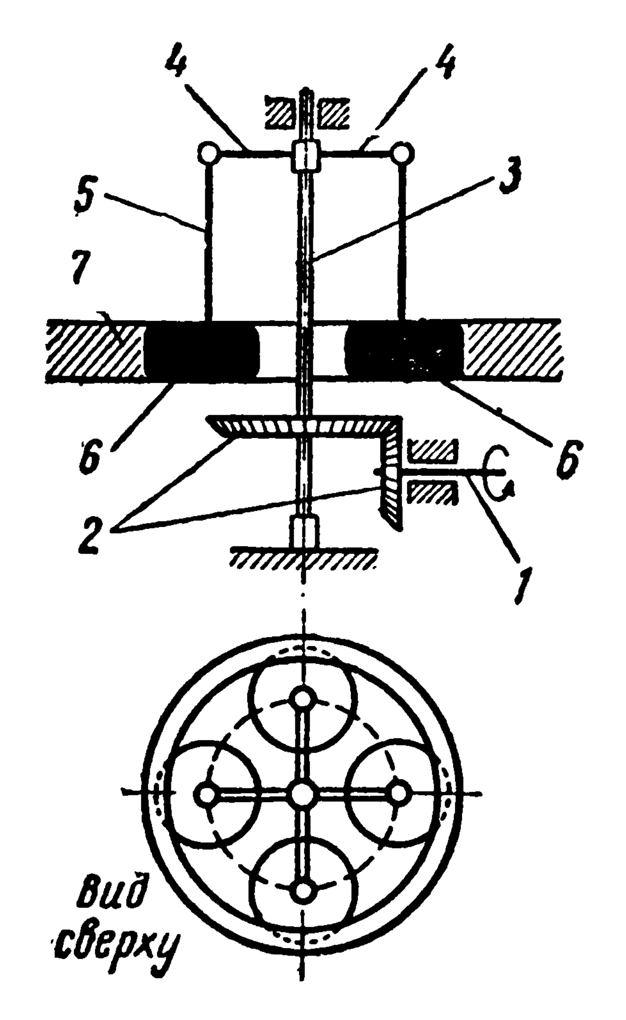


Рис. 19. Устройство центробежной мельницы:

1 — ведущий вал; *2* — редуктор; *3* — главный вал; *4* — крестовина; *5* — маятниковые подвесы; *6* — ролики; *7* — неподвижный цилиндр.

Широкое применение находят сейчас центробежные мельницы — машины, служащие для измельчения каких-либо твердых тел между внутренней рабочей поверхностью неподвижного кольца и катящимися по ней роликами или шариками. Роликовые мельницы применяются, например, на электростанциях, работающих на угле, для помола топлива. Схема роликовой центробежной мельницы приведена на рисунке 19.

Надо остановиться также на разборе центробежного способа литья, который сводится к литью в быстровращающейся форме (рис. 20). При горизонтальном способе центробежного литья ось вращения проходит через центр изложницы. Металл, заполняя вращающуюся изложницу, принимает форму цилиндра. Такой способ литья широко применяется, например, для отливки чугунных труб или стволов артиллерийских орудий. Следует отметить, что отливки, выполненные методом центробежного литья, обладают исключительно высокими качествами, так как этот способ гарантирует изготовление отливок с минимальным числом газовых и неметаллических включений.

Учащимся интересно будет узнать, что метод центробежного литья планируется использовать на специальных установках, которые будут выведены на орбиту искусственных спутников Земли.

Широкое применение получили центробежные насосы. Упрощенная схема такого насоса приведена на рисунке 21. Жидкость входит по оси цилиндра в точке *А* перпендикулярно плоскости чертежа, а выходит через цилиндрический патрубок *Б*, врезанный в кожух.

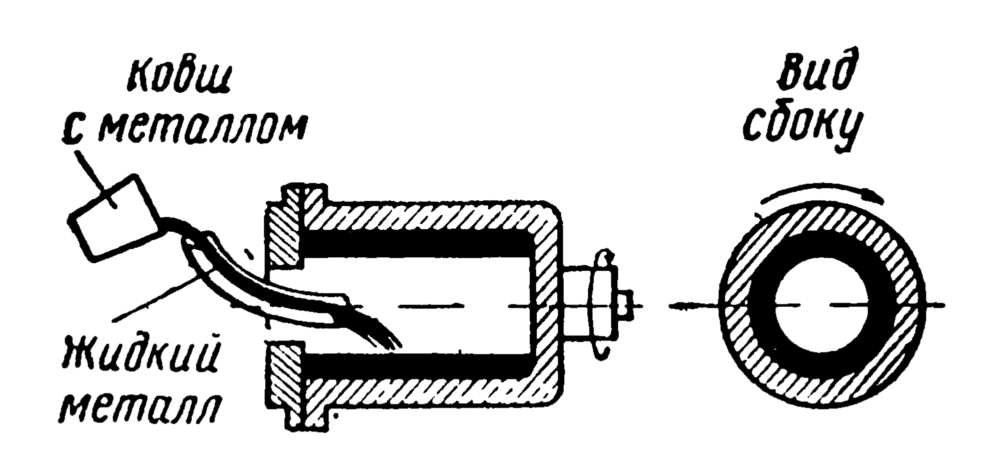


Рис. 20. Метод центробежного литья.

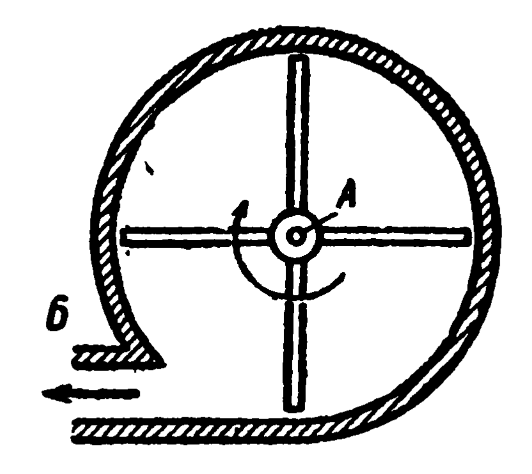


Рис. 21. Схематическое изображение центробежного насоса.

При объяснении схемы нужно использовать настенную таблицу «Центробежный насос», а также показать учащимся модель центробежного насоса.

После изучения материала этого параграфа учащиеся должны знать об обратной связи в автоматике, использовании центробежного эффекта в одном из автоматических регулирующих устройств, схему и принцип действия центробежного механизма.

ЗАДАЧИ

1. Приведите примеры устройств, в которых используется обратная связь.

2. Схема масляного сепаратора аналогична схеме молочного сепаратора (см. рис. 18). Пользуясь этой схемой, объясните, как происходит отделение более тяжелых примесей от масла.

3. Определите максимальное ускорение, с которым может двигаться автомобиль по выпуклому мосту, имеющему форму дуги окружности, если скорость автомобиля в верхней точке моста 72 км/ч, коэффициент трения 0,4, а радиус кривизны моста 100 м. (Ответ: 2,4 м/с^2.)

§ 4. НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Домкраты. При изучении механической работы и мощности полезно разобрать устройство и принцип действия домкрата.

В монтажных и ремонтных работах для подъема груза на небольшую высоту применяют винтовые и гидравлические домкраты, которые приводятся в действие вручную. Винтовой домкрат (рис. 22) состоит из винта *1*, ввинчиваемого в корпус *2*, и рукоятки *3* с собачкой *4*, преобразующих качательное движение, получаемое от руки рабочего, в прерывистое вращение винта. Винт делают самотормозящимся для предотвращения самопроизвольного опускания груза. Для этого угол подъема винтовой линии должен быть порядка 4—6°.

На винт устанавливают свободно вращающуюся рифленую головку *5*.

Следует подчеркнуть, что увеличение хода винта при сохранении самоторможения достигается применением двух винтов (суммирующих) с противоположным направлением винтовых линий.

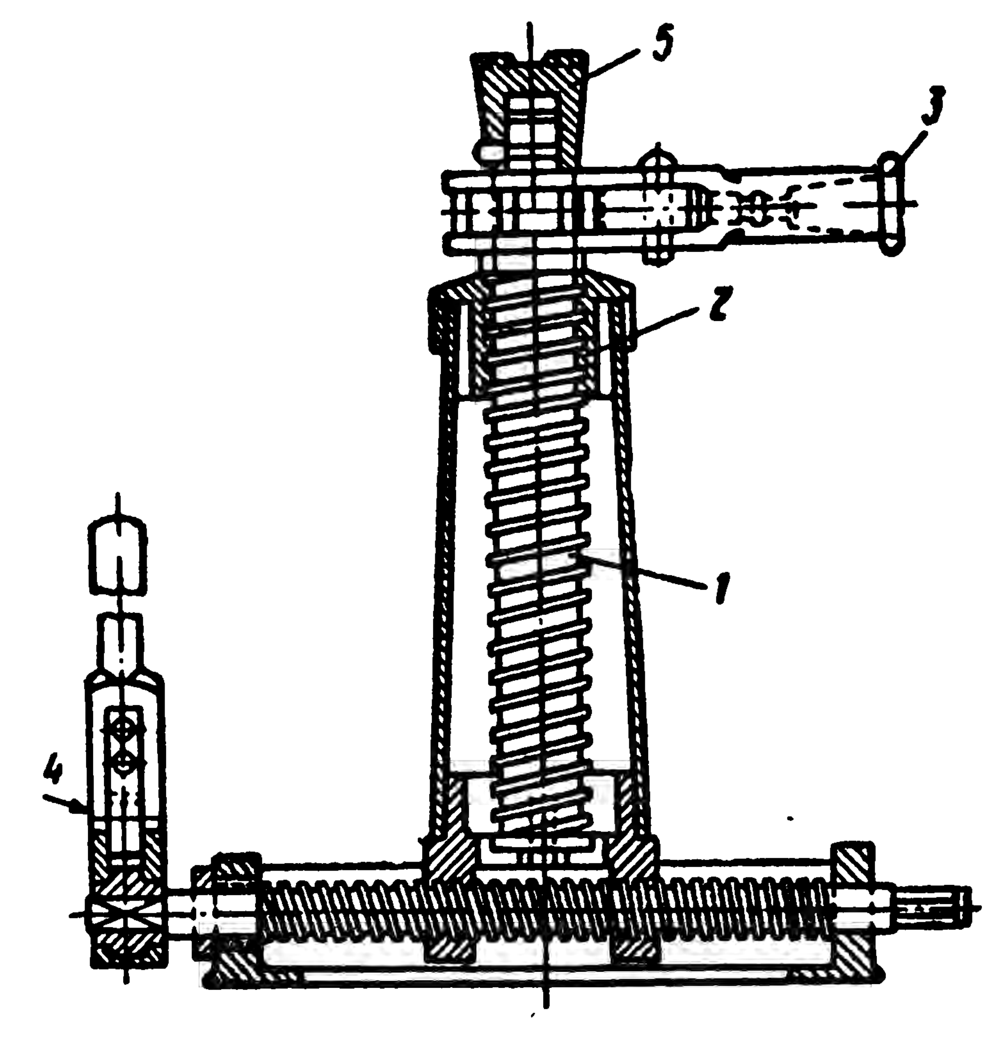


Рис. 22. Винтовой домкрат:
1 — винт; *2* — корпус; *3* — рукоятка; *4* — собачка; *5* — рифленая головка.

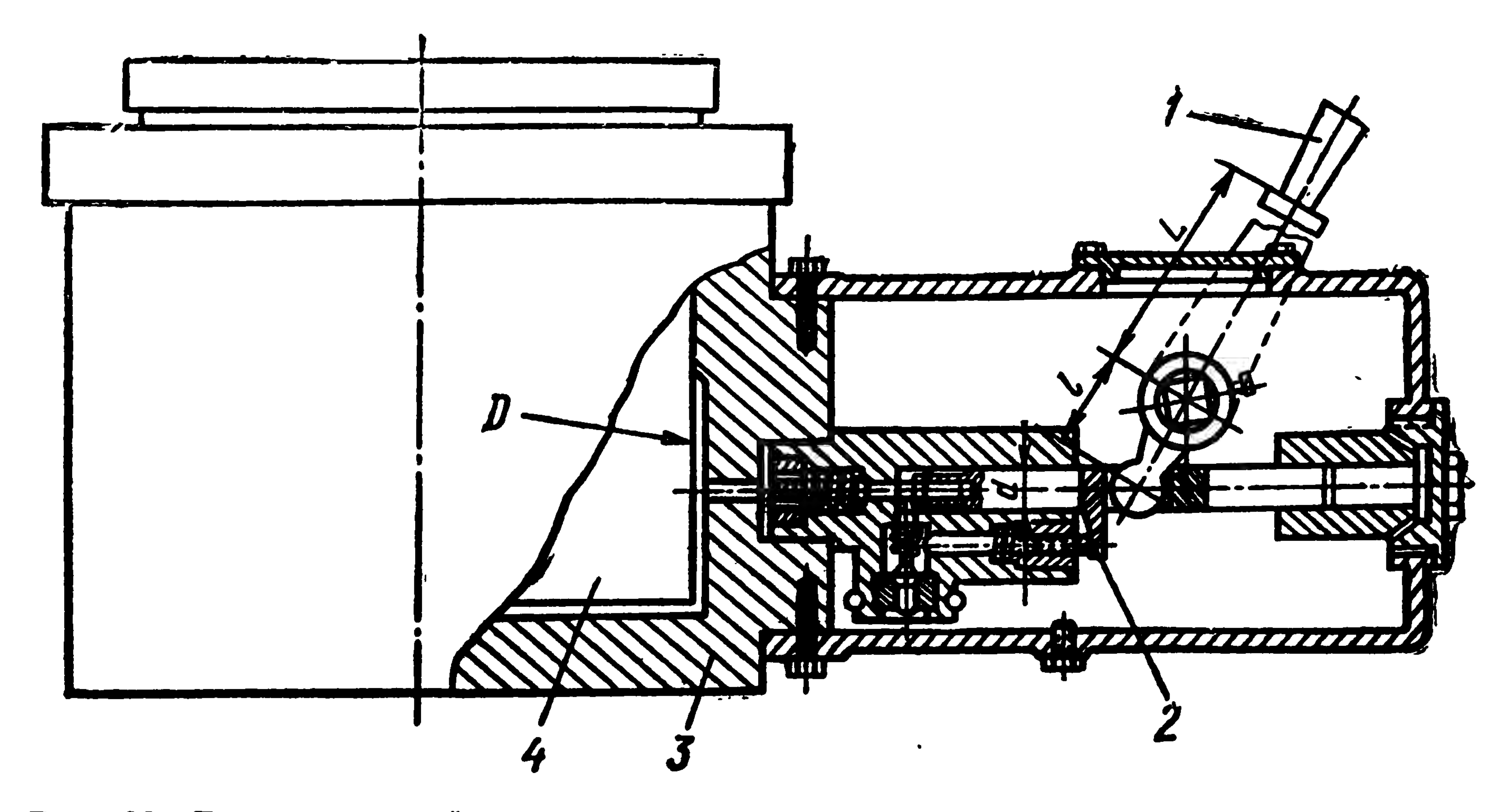


Рис. 23. Гидравлический домкрат:
1 — рукоятка; 2 — плунжер насоса; 3 — рабочий цилиндр; 4 — рабочий плунжер.

Опускание груза производят аналогично подъему, при этом собачку храповика перекидывают на другую сторону.

Учащимся нужно разъяснить, что сила F, которую необходимо приложить к рукоятке, чтобы поднять груз, определяется из закона равенства работ:

$$F \cdot 2\pi l\eta = Qs,$$

где Q — сила, приложенная к головке; s — шаг винта; l — длина рукоятки; η — КПД механизма.

Откуда

$$F = \frac{Qs}{2\pi l\eta}.$$

Винтовые домкраты выпускаются грузоподъемностью от 1 до 20 т, КПД их сравнительно низок (0,3—0,4).

Технический принцип работы гидравлического домкрата основан на законе Паскаля. Рукояткой 1 приводят в действие плунжер 2 насоса (рис. 23). В рабочий цилиндр 3 попадает жидкость под давлением. Она давит на рабочий плунжер 4 и поднимает его. Груз, опирающийся на головку плунжера, поднимается вместе с ним. Для опускания груза открывают обратный клапан — и жидкость протекает в резервуар, из которого в дальнейшем снова поступает в насос.

Чтобы увеличить силу, действующую на плунжер насоса, рукоятку делают двойной с плечами l и L (см. рис. 23).

Так как усилие на плунжер 2 насоса будет $F\frac{L}{l}$, то давле-

ние определится выражением $\frac{F\frac{L}{l}}{\pi\frac{d^2}{4}}$, а условие равенства давлений жидкости в насосе и рабочем цилиндре выразится формулой:

$$\frac{F\frac{L}{l}}{\frac{\pi d^2}{4}}\eta = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}},$$

где d и D — соответственно диаметр плунжера насоса и рабочего плунжера; l и L — плечи рукоятки; η — КПД механизма; F — сила на рукоятке, необходимая для подъема; Q — вес поднимаемого тела.

Отсюда

$$F = \frac{Qd^2l}{\eta D^2L}.$$

Гидравлические домкраты по сравнению с винтовыми обладают следующими преимуществами: высоким КПД (0,75—0,8) и большой грузоподъемностью (до 200 т). К недостатку следует отнести малую скорость подъема грузов.

Лебедка. Лебедки применяют для подъема и перемещения грузов, а также в качестве составных частей более сложных машин — экскаваторов, кранов и т. д. При интенсивной эксплуатации применяют лебедки с машинным приводом, при эпизодической работе используют лебедки с ручным приводом.

Передаточный механизм лебедки состоит из одной или двух пар зубчатых передач. Канат навивается на барабан в один или несколько слоев (рис. 24).

Учащимся следует показать, как рассчитывают силу F, которую необходимо приложить к рукоятке лебедки. Она определяется из закона равенства работ:

$$F\cdot 2\pi L\eta = \frac{Q\pi D}{i},$$

где Q — вес поднимаемого груза; D — диаметр барабана; L — длина рукоятки; i — передаточное число зубчатых передач; η — КПД лебедки.

Откуда

$$F = \frac{QD}{2Li\eta}.$$

Большинство лебедок осна-

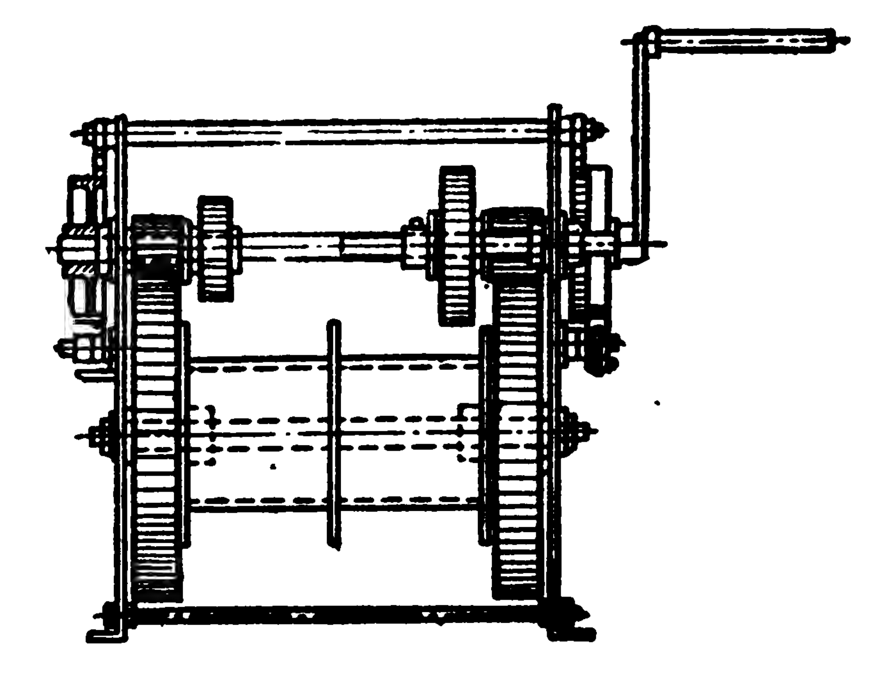


Рис. 24. Ручная лебедка.

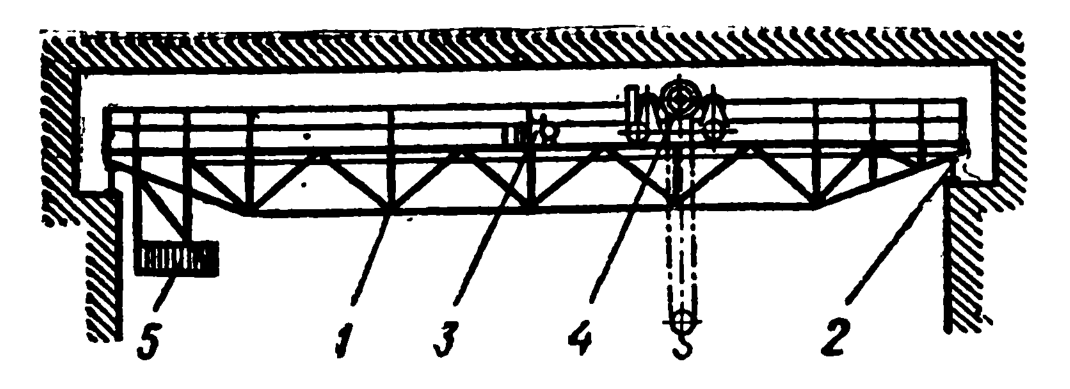


Рис. 25. Мостовой кран:

1 — мост; *2* — ходовые колеса; *3* — механизм перемещения; *4* — крановая тележка; *5* — кабина управления.

щено электрическими двигателями, создающими достаточно большое по величине, постоянное во времени тяговое усилие.

Краны. Устройство кранов и силы, действующие на краны, целесообразно рассмотреть при изучении равновесия тел.

Мостовые краны (рис. 25) обеспечивают перемещение грузов в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Для перемещения в каждом направлении имеется самостоятельный механизм.

Учащимся нужно объяснить принцип работы мостового крана, мост которого *1* опирается ходовыми колесами *2* на рельсы, уложенные на выступах вдоль стен здания. Кран перемещается механизмом *3*, находящимся на мосту. Крановая тележка *4* перемещается на колесах вдоль моста, на ней расположены механизмы движения тележки и подъема груза. Грузоподъемность мостовых кранов от 5 до 250 т. Мостовые краны обычно устанавливают в цехах заводов, на железнодорожных станциях и сортировочных площадках.

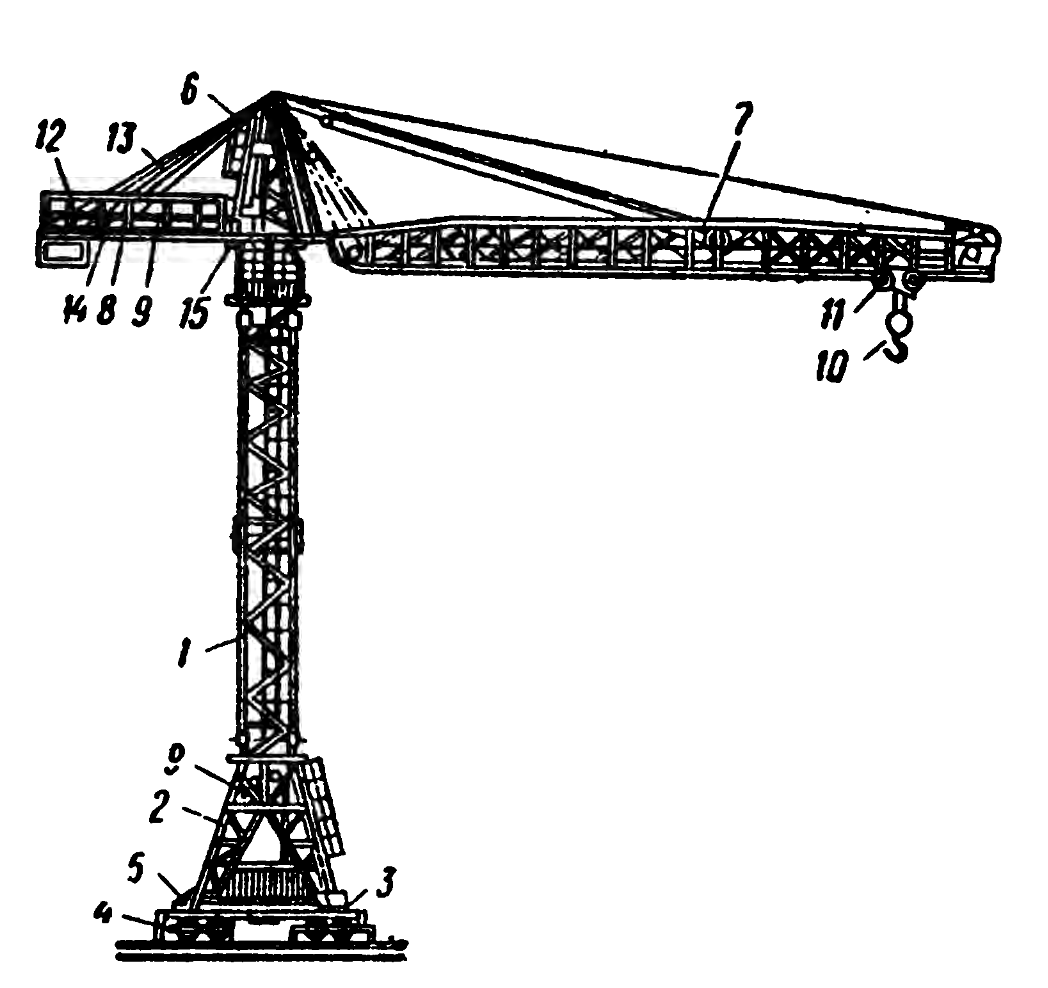


Рис. 26. Башенный кран с поворотной стрелой:

1 — башня; *2* — портал; *3* — рама; *4* — ходовые тележки; *5* — механизм передвижения крана; *6* — вращающийся колокол; *7* — стрела; *8* — противовесная консоль; *9* — лебедка; *10* — грузозахватное устройство; *11* — тележка; *12* — лебедка; *13* — канаты; *14* — лебедка подъема стрелы; *15* — механизм поворота стрелы.

При объяснении работы мостового крана можно воспользоваться таблицей «Мостовой кран», а также показать диапозитив «Мостовой кран».

Башенные краны получили большое распространение в жилищном и промышленном строительстве благодаря своей высокой маневренности. Их грузоподъемность колеблется от 1 до 75 т.

С учащимися следует разобрать, как работает кран с поворотной стрелой (рис. 26). Решетчатая башня *1* через портал *2* опира-

ется на раму *3* с ходовыми тележками *4*. Верхнюю часть башни покрывает вращающийся колокол *6* с шарнирно укрепленной на нем стрелой *7* и противовесной консолью *8*. Подъемный механизм состоит из лебедки *9*, установленной в башне, каната и грузозахватного устройства *10*, которое свешивается с тележки *11*, способной передвигаться по стреле посредством лебедки *12* и канатов *13*. На противоположной консоли установлена лебедка подъема стрелы *14* и механизм поворота стрелы *15*.

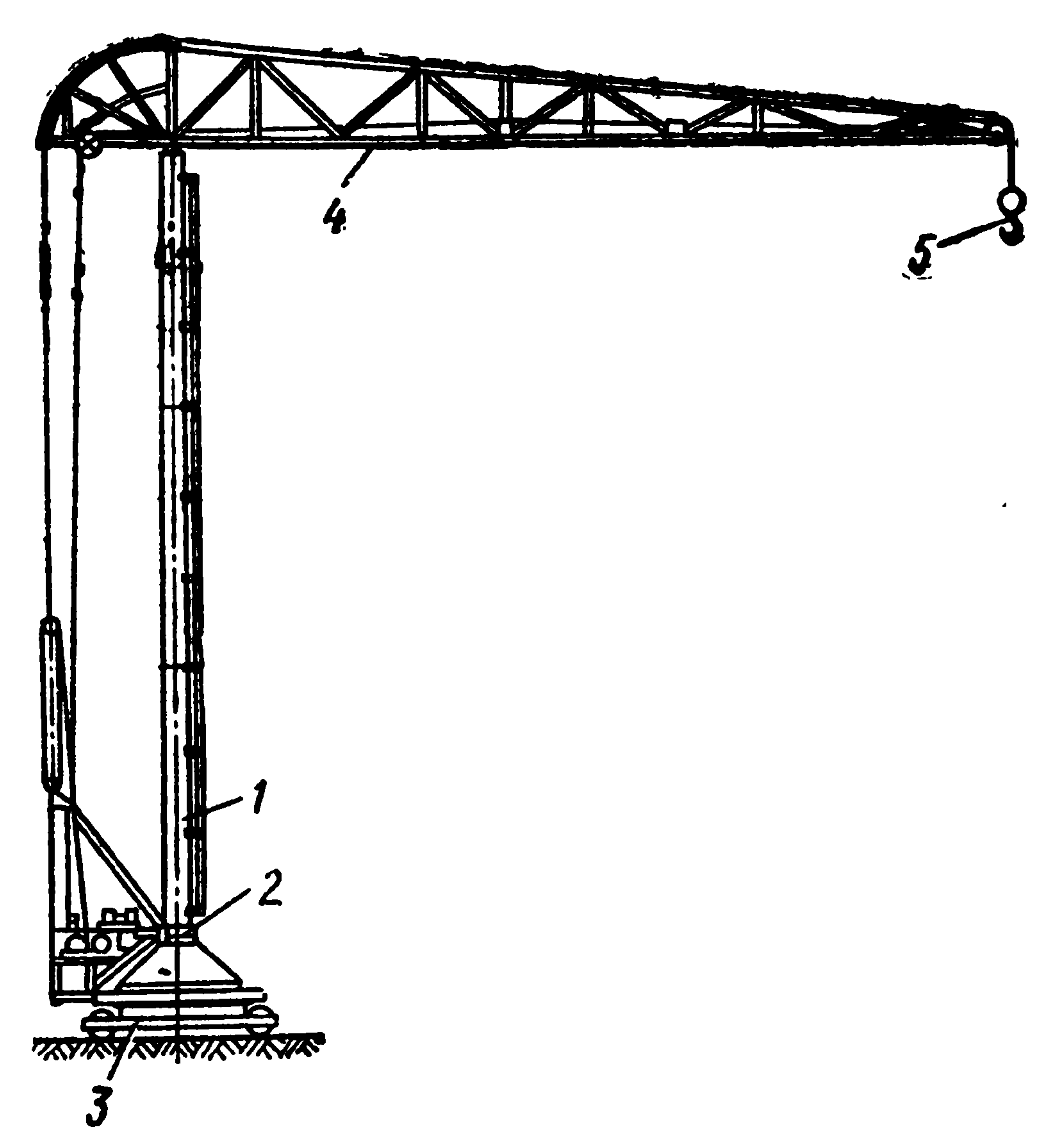


Рис. 27. Башенный кран с поворотной колонкой:

1 — башня; *2* — рама; *3* — ходовые тележки; *4* — стрела; *5* — грузозахватное устройство.

При объяснении работы башенного крана можно воспользоваться таблицей «Башенный кран», а также диапозитивом «Подъемный кран».

Кран другой конструкции (с поворотной колонкой) представляет собой трубчатую вращающуюся башню *1* (рис. 27), которая опирается на неподвижную конусную раму *2*. Рама соединена с ходовыми тележками *3*. Сверху к башне шарнирно прикреплена стрела *4*, с конца которой свешивается грузозахватное устройство *5*. Краном управляют из кабины, прикрепленной к башне на значительной высоте. Для увеличения жесткости и устойчивости кранов опоры часто делают в виде порталов, на которых размещают балласт.

В заключение следует рассказать учащимся, как определяют моменты сил, действующих на мостовой и башенный краны при их работе.

После знакомства с материалом этого параграфа учащиеся должны знать устройство и принцип действия домкрата, лебедки, мостового и башенного кранов и уметь рассчитывать действующие на них силы.

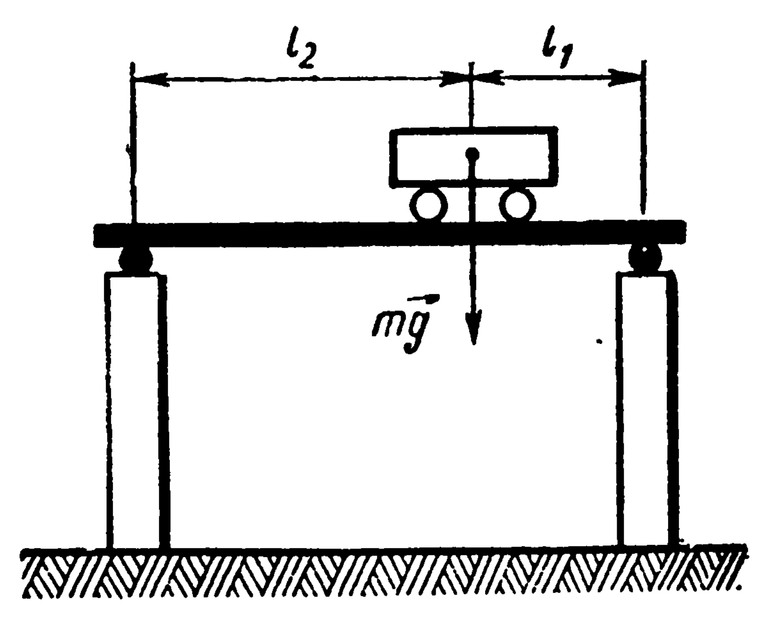


Рис. 28. К задаче № 4 (§ 4, гл. I).

ЗАДАЧИ

1. Определите КПД винтового домкрата, имеющего шаг 5 мм, если для подъема автомобиля массой 600 кг необходимо к ручке длиной 50 см приложить усилие 30 Н. (Ответ: 0,32.)

2. Какое усилие нужно приложить к рукоятке винтового домкрата, имеющего шаг 3 мм и КПД 0,3, для того чтобы поднять груз массой 10 т (длина ручки домкрата 60 см)? (Ответ: $3\cdot10^2$Н.)

3. Определите, какой груз может поднять гидравлический домкрат, если отношение длин плеч рукоятки $\frac{l}{L}=10$, отношение диаметров $\frac{d}{D}=20$, КПД домкрата $\eta=0{,}8$, а действующая сила $F=50$ Н. (Ответ: $1{,}6\cdot10^5$ Н.)

4. Определите реакции опор мостового крана, если он перемещает груз массой $m=15$ т, а расстояние до опор $l_1=10$ м, $l_2=20$ м (рис. 28). (Ответ: $N_1=10^5$ Н; $N_2=0{,}5\cdot10^5$ Н.)

§ 5. РЕАКТИВНАЯ ТЯГА И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АВИАЦИИ И РАКЕТНОЙ ТЕХНИКЕ

В учебнике по физике для VIII класса подробно рассмотрен закон сохранения импульса, а также указано, что практическим применением закона сохранения импульса является реактивное движение. Этих знаний достаточно для разбора некоторых вопросов реактивного движения.

Реактивное движение можно продемонстрировать с помощью модели[1] (Д. Э., т. 1, опыт 18). Для демонстрации реактивного движения можно также использовать тележку реактивного действия.

Далее желательно остановиться на работе реактивного двигателя, в котором химическая энергия топлива преобразуется в кинетическую энергию газа. Отношение кинетической энергии газа к химической энергии сгоревшего топлива называют коэффициентом полезного действия. Так как в системе имеют место различные тепловые потери, то коэффициент полезного действия двигателя меньше единицы.

Полезно рассчитать мощность реактивного двигателя. Если за время t из двигателя со скоростью v вытекает газ массой m, то кинетическая энергия этого газа $E_k=\frac{mv^2}{2}$, поэтому мощность $P=\frac{E_k}{t}=\frac{mv^2}{2t}=\frac{\mu v^2}{2}$, где $\mu=\frac{m}{t}$ — секундный расход массы топлива.

Аналогично может быть рассчитана сила тяги двигателя:

$$F_т t=mv \text{ или } F_т=\frac{mv}{t}=\mu v.$$

[1] Рекомендуемая демонстрация описана в пособии для учителей «Демонстрационный эксперимент по физике» (под ред. А. А. Покровского), т. 1, 2. М., «Просвещение», 1971—1972. Ссылка на это пособие здесь и в дальнейшем приводится сокращенно. Например, приведенная выше ссылка означает: «Демонстрационный эксперимент по физике», т. 1, опыт 18.

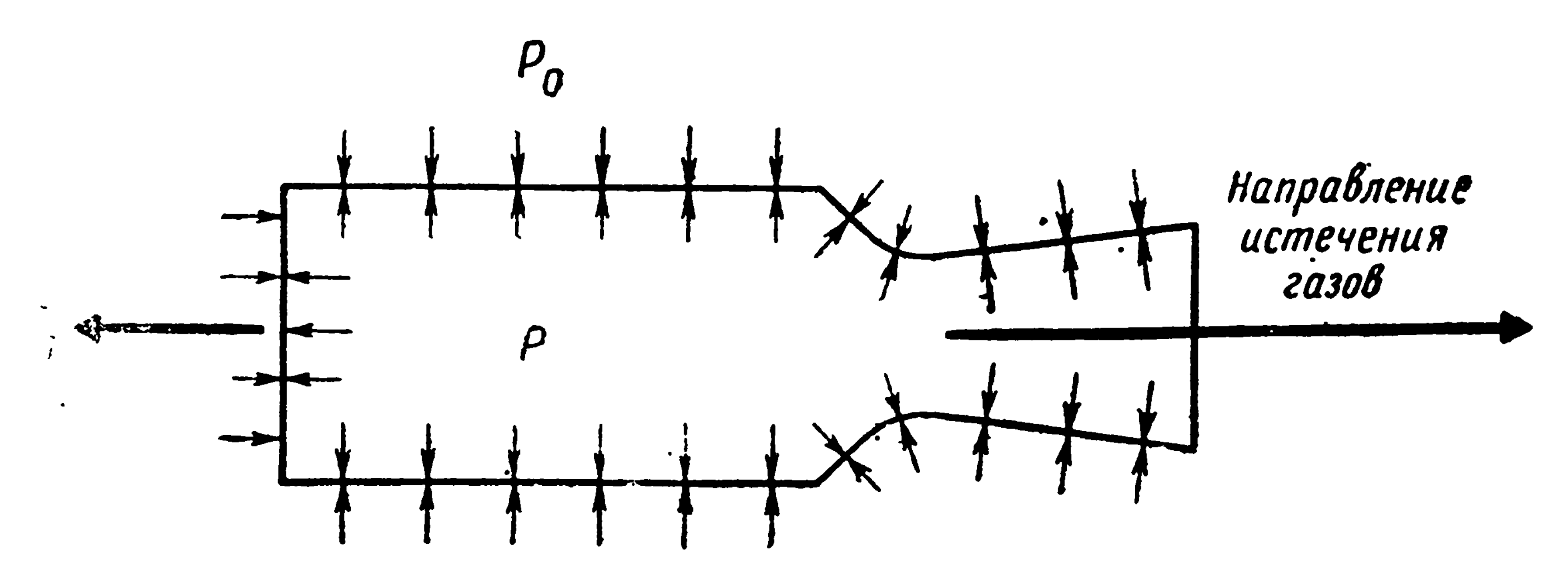


Рис. 29. Силы и давления, действующие в реактивном двигателе.

Такое же значение можно получить прямым путем из выражения для мощности.

В современной технике реактивный двигатель определяют как двигатель, в котором подводимая энергия преобразуется в кинетическую энергию струи рабочего тела, вытекающего из двигателя, а получающаяся за счет этого сила реакции является силой тяги.

Основная характеристика любого реактивного двигателя — сила тяги, которая представляет равнодействующую всех сил, действующих на поверхность двигателя. Снаружи на реактивный двигатель действует атмосферное давление p_0 (рис. 29), а изнутри — превышающее его давление p.

Учащиеся должны усвоить принципиальную схему реактивного двигателя, который состоит из трех важнейших узлов: генератора рабочего тела, ускорителя рабочего тела и источника энергии (рис. 30). Рабочее тело (газ, ионы, ядерные частицы) из генератора поступает в ускоритель, где ускоряется до определенной скорости и отбрасывается двигателем в виде реактивной струи.

При объяснении схемы следует отметить, что принципиальным отличием любого реактивного двигателя является то, что он сам приводит в движение связанный с ним транспортный аппарат без участия промежуточных агрегатов, называемых движителями.

Для протекания реакции в реактивном двигателе необходимо взаимодействие двух веществ — горючего и окислителя. В качестве горючего используются водород, углерод, бор, а также некоторые металлы — алюминий, литий, бериллий.

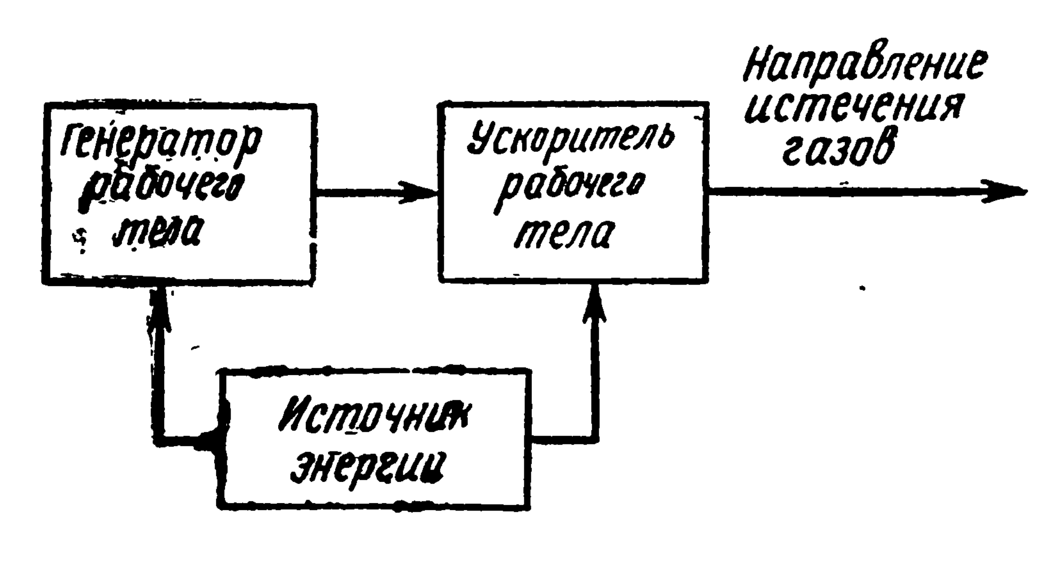


Рис. 30. Блок-схема реактивного двигателя.

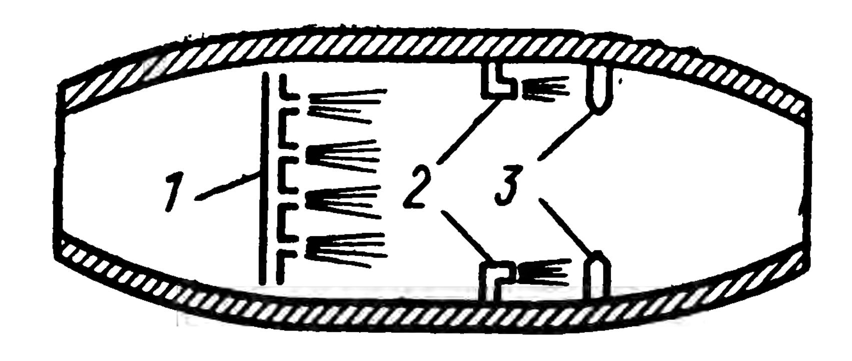


Рис. 31. Устройство воздушно-реактивного двигателя (ВРД):
1 — рабочие форсунки; *2* — пусковые форсунки; *3* — свечи зажигания.

Очень хорошие окислители кислород и фтор. В качестве окислителя используется также хлор.

Реактивные двигатели классифицируются по роду рабочего тела, виду топлива, характеру источника энергии, способу передачи энергии рабочему телу и другим признакам.

В зависимости от вида используемого топлива реактивные двигатели разделяются на несколько классов, наиболее широко применяются три из них: воздушно-реактивные двигатели (ВРД), жидкостные реактивные двигатели (ЖРД) и реактивные двигатели на твердом топливе (РДТТ). (При объяснении полезно использовать таблицу «Реактивный двигатель».)

Воздушно-реактивные двигатели сыграли важную роль в развитии техники (прежде всего, авиационной), так как позволили достигнуть скорость звука и в несколько раз превзойти ее. При работе по обычной топливной схеме реактивных двигателей — топливо+окислитель ВРД для сжигания горючего (керосина) использует кислород окружающего воздуха, который засасывается в двигатель. Отсутствие окислителя на борту летательного аппарата — преимущество ВРД, так как значительно облегчает его конструкцию. Но необходимость наличия окислителя — воздуха — ограничивает область применения этого двигателя высотами до 30 км, на которых достаточная плотность воздуха обеспечивает питание двигателя.

На факультативных занятиях можно ознакомить учащихся со схемой воздушно-реактивного двигателя (ВРД), предназначенного для получения дозвуковых скоростей полета (рис. 31).

В двигателе встречный поток воздуха открывает створчатые клапаны и заполняет камеру сгорания. В это время через форсунки *2* бензин под давлением сжатого воздуха поступает в камеру. Свечи зажигания *3* поджигают смесь, после чего начинают работать основные — рабочие — форсунки *1*. После сгорания смеси (взрыва) давление газов резко увеличивается и створчатые клапаны закрываются. Через выхлопную трубу продукты сгорания устремляются в атмосферу, после чего в камере сгорания создается некоторое разрежение. Затем створчатые клапаны снова открываются и цикл работы двигателя повторяется. Такой двигатель действует периодически с частотой около 50 Гц.

Принцип работы жидкостного реактивного двигателя (ЖРД) состоит в следующем. Окислитель и горючее поступают в смесительную головку камеры раздельно (рис. 32). Затем они вводятся в камеру через форсунку головки благодаря разности

давлений в системе подачи топлива и головке камеры. Для высокой эффективности двигателя необходимо, чтобы реакция в камере сгорания протекала как можно быстрее и была как можно более полно выражена, т. е. чтобы все горючее вступило в реакцию со всем окислителем.

Кроме силы тяги, важной характеристикой любого двигателя является удельная тяга — тяга, получаемая в двигателе при расходе 1 кг топлива за 1 с. Удельная тяга пропорциональна скорости истечения газов из сопла. Увеличение скорости истечения позволяет уменьшить расход топлива на 1 кг тяги. Скорость истечения непосредственно зависит от кинетической энергии движения молекул газа, которая, как известно, при одной и той же температуре обратно пропорциональна молекулярной массе рабочего вещества. Чем меньше молекулярная масса топлива, тем больше объем газов, образующихся при его сгорании, а чем больше объем газов, тем больше скорость их истечения.

Жидкостные реактивные двигатели устанавливают на ракетах. Одноступенчатая ракета может приобрести скорость до 2500 м/с, что значительно меньше первой космической скорости. Применение многоступенчатых ракет, использующих жидкое топливо, позволило получить скорость, превышающую вторую космическую.

Реактивный двигатель на твердом топливе имеет две основные части: камеру сгорания и реактивное сопло (рис. 33). Простота устройст-

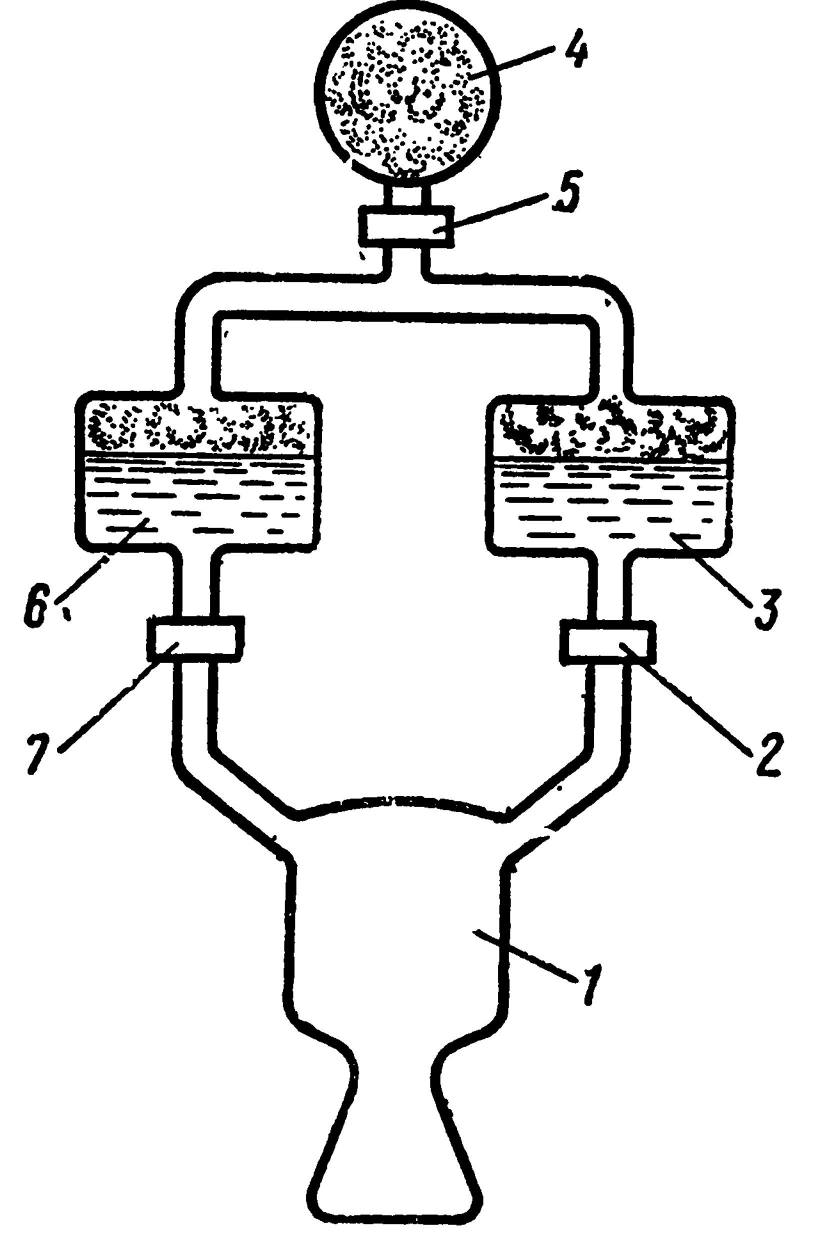


Рис. 32. Устройство жидкостного реактивного двигателя (ЖРД):
1 — камера сгорания; 2, 5, 7 — клапаны; 3 — бак с горючим; 4 — баллон со сжатым газом; 6 — баллон с окислителем.

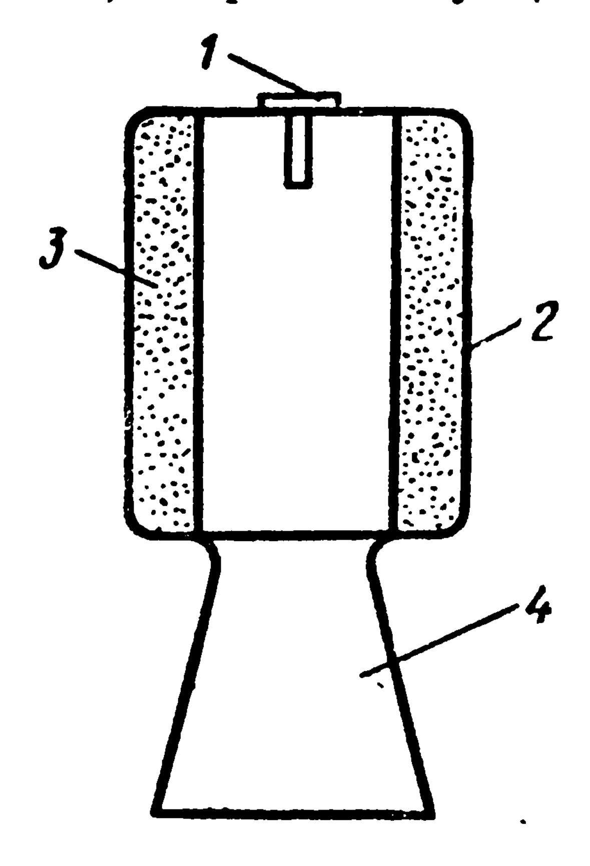


Рис. 33. Устройство реактивного двигателя на твердом топливе (РДТТ):
1 — воспламенитель; 2 — корпус; 3 — заряд топлива; 4 — сопло.

ва РДТТ является определенным преимуществом этого класса двигателей. Другое важное достоинство РДТТ — постоянная готовность двигателя к действию, надежность и простота эксплуатации.

Основной элемент РДТТ — заряд твердого топлива. Первым твердым топливом, примененным в этом классе двигателей, был порох, который содержит в себе горючее и окислитель. Газы, образующиеся при сгорании топлива, вытекают со скоростью до 2000 м/с. В настоящее время в качестве топлива наиболее часто применяют раствор нитроцеллюлозы и нитроглицерина.

То, что камера сгорания в реактивном двигателе на твердом топливе служит топливным баком, значительно упрощает конструкцию самого двигателя, но и создает неудобство. Недостатком является и то, что в РДТТ трудно изменять не только величину силы тяги, но и ее направление.

Самое широкое применение РДТТ нашли в военной технике: их ставят на кораблях и самолетах, применяют в качестве противотанковых и зенитных ракет. В космонавтике их применение ограничено, что связано с указанными недостатками.

Изучение материала следует завершить просмотром кинофильма «Реактивные двигатели».

После ознакомления с материалом этого параграфа учащиеся должны знать принцип реактивного движения, некоторые характеристики реактивных двигателей (тяга, удельная тяга, применяемое топливо), устройство жидкостного реактивного двигателя или реактивного двигателя на твердом топливе.

ЗАДАЧИ

1. Определите силу тяги и мощность реактивного двигателя, из которого ежесекундно вытекает газ массой 100 кг со скоростью 1,5 км/с. (Ответ: 150 Н.)
2. Укажите преимущества и недостатки реактивных двигателей на жидком и твердом топливе.

§ 6. ЗНАЧЕНИЕ РАБОТ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО ДЛЯ КОСМОНАВТИКИ. ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ

Вклад русского ученого К. Э. Циолковского в космонавтику и космическую технику трудно переоценить. Сформулированные им идеи в значительной степени определили развитие космических исследований.

В 1903 г. в статье «Исследование мировых пространств реактивными приборами» К. Э. Циолковский вывел уравнение (названное впоследствии его именем), определяющее максимальную скорость ракеты после израсходования ею всего топлива:

$$v = 2{,}3W \lg \frac{m_к + m_т}{m_к},$$ [1]

[1] Эту формулу, конечно, нужно дать в ознакомительном плане.

где W — скорость истечения реактивной струи;

$m_к$ — масса конструкции ракеты;

$m_т$ — начальная масса топлива.

Величина $\frac{m_к}{m_к+m_т}$, обратная стоящей под знаком логарифма, была названа числом Циолковского.

В этой работе Циолковского, а также в других его трудах сформулированы важные принципы космонавтики:

1) использование жидких топлив, солнечной и атомной энергии для двигателей космических аппаратов;

2) использование многоступенчатых ракет.

Из анализа формулы Циолковского легко сделать вывод, что скорость будет максимальной, если отношение $\frac{m_к+m_т}{m_к}$ максимально, т. е. масса конструкции, приходящаяся на единицу массы топлива, минимальна.

В существующих сейчас ракетах число Циолковского равно 0,3. Если предположить, что ракеты будут усовершенствованы и в будущем число Циолковского будет доведено до 0,1, то в этом случае максимальная скорость полета ракеты окажется равной

$$v = 2{,}3 \cdot 2{,}5 \lg \frac{1}{0{,}1} = 5{,}75 \text{ (км/с)}.$$

Даже без учета сил тяготения и аэродинамического сопротивления движению ракеты эта скорость значительно меньше первой космической скорости (≈ 8 км/с). По существу это есть предельная скорость, которую может создать одноступенчатая ракета (при числе Циолковского, равном 0,1).

Циолковский показал, что скорость может быть значительно увеличена, если применить многоступенчатые ракеты. В этом случае формула Циолковского примет вид:

$$v = 2{,}3 W \lg \frac{1}{\mu^n} = 2{,}3 \cdot n \cdot W \lg \frac{1}{\mu},$$

где $\mu = \frac{1}{1+\frac{m_т}{m_к}}$;

n — число ступеней.

При тех же данных скорость трехступенчатой ракеты окажется равной

$$v = 2{,}3 \cdot 3 \cdot 2{,}5 \lg \frac{1}{0{,}1} \approx 17{,}25 \text{ (км/с)},$$

что значительно превышает даже вторую космическую скорость (11,2 км/с).

При объяснении желательно показать диапозитив «Космические ракеты К. Э. Циолковского».

Идея К. Э. Циолковского о создании постоянных космических станций-спутников путем сборки их на орбитах по частям еще не реализована. Существующие станции-спутники («Салют», «Скайлэб») не собираются на орбите, а в уже собранном виде запускаются с Земли.

Учитель может рассказать учащимся, что работы К. Э. Циолковского внесли огромный вклад не только в космонавтику, но и в воздухоплавание. Циолковскому принадлежит идея цельнометаллического дирижабля переменного объема, имеющего одинаковую подъемную силу при различных высотах полета и различных температурах окружающего воздуха. В 1894 г. К. Э. Циолковский высказал идею цельнометаллического аэроплана, к которой конструкторы пришли лишь через 15—20 лет.

Знакомя учащихся с научным наследием К. Э. Циолковского, необходимо учитывать их интерес к научно-фантастической литературе. Полезно отметить, что идеи ученого были не только фантастичны, но и глубоко научны. Может быть, стоит сравнить мир научной фантастики К. Э. Циолковского, хорошо продуманный и аргументированный, с миром других научных фантастов, например Ж. Верна, некоторые идеи которого вряд ли смогут быть реализованы (например, проект запуска ракеты на Луну с помощью пушки).

Обобщая знания, полученные учащимися, нужно подчеркнуть, что в определенной степени благодаря реализации идей К. Э. Циолковского Советский Союз стал пионером космических исследований и добился в этой области грандиозных успехов.

Развитие космонавтики в Советском Союзе шло по трем основным направлениям. Это запуск пилотируемых космических кораблей, искусственных спутников Земли и космических кораблей к планетам Солнечной системы. (При изложении этого материала большую помощь учителю может оказать демонстрация кинофильма «Физические основы космических полетов».)

Космонавтика сейчас является сложнейшим разделом техники, в котором объединились самые последние достижения машиностроения, электроники, автоматики. Вряд ли найдется другая техническая область, которая в столь же высокой степени концентрировала бы достижения многих прикладных наук. Вместе с тем сейчас о некоторых областях науки и техники говорят, что они развиваются «через космос», т. е. прогресс в них в первую очередь определяется развитием космонавтики. Приборы и технические материалы, разработанные для космических установок, нашли самое широкое распространение в земных условиях.

В соответствии с действующей программой учитель должен остановиться на назначении искусственных спутников Земли. Все искусственные спутники Земли делятся на три типа: спутники связи, метеоспутники и исследовательские спутники.

Спутники связи. Запуск спутников связи осуществляется с целью ретрансляции радио- и телевизионных передач в различные районы земного шара. Спутники запускаются на вытянутую эллиптическую орбиту (апогей порядка 40 000 км) для того, чтобы они одновременно были видны из различных точек Земли. Все спутники связи делятся на пассивные и активные.

Пассивные спутники по существу представляют собой зеркало, отражающее радиосигнал. Они запускались в основном в 60-е годы и сейчас считаются малоперспективными. Более широкое будущее ожидает активные спутники, на которых установлены радио- и телевизионные ретрансляторы, а также система ориентации, удерживающая спутник в наиболее выгодном положении. Бортовая аппаратура спутников питается от панелей солнечных батарей. Установка на борту активного спутника связи ретранслятора значительно повышает уровень принимаемого сигнала.

Метеоспутники. Для прогнозов погоды и создания единых метеосводок очень важное значение имеют метеоспутники, на которых устанавливается телевизионная и фотографическая аппаратура, дающая самую разнообразную информацию о температуре поверхности Земли, распределении облачности, снежного покрова и ледовых полей. Радиометрическая аппаратура, установленная на спутниках, позволяет регистрировать радиацию, поступающую от Солнца, а также радиацию, отражаемую и излучаемую Землей.

Необходимость запуска метеоспутников определена еще и тем, что большую часть поверхности Земли занимают океаны, где весьма затруднено создание метеостанций.

Исследовательские спутники. Исследовательские спутники составляют большую часть запускаемых спутников. С их помощью решаются следующие физические, геологические, астрономические и медико-биологические задачи:

1) исследование верхних слоев атмосферы и ионосферы (состав атмосферы и ионосферы, плотность заряженных частиц в различных слоях, изучение характера прохождения радиосигналов спутника);

2) исследование радиационного и магнитного поясов Земли и межпланетного магнитного поля;

3) определение электростатического заряда и инфракрасного излучения Земли;

4) определение ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения Солнца, звезд и галактики;

5) исследование радиоизлучения Солнца, звезд, галактики;

6) исследование солнечного ветра, который представляет собой истечение солнечной плазмы со скоростью в несколько сотен километров в секунду и с плотностью в несколько десятков частиц в кубическом сантиметре;

7) исследование метеоритов (опасность их для космических полетов и эрозийное воздействие на оболочку спутника);

8) медико-биологические исследования.

В зависимости от решаемых задач спутники оборудуются различной аппаратурой.

Для обобщения и закрепления всего изложенного материала можно продемонстрировать кинофильм «Искусственные спутники Земли».

После изучения этого параграфа учащиеся должны знать об основных идеях К. Э. Циолковского и их влиянии на космическую технику; об искусственных спутниках Земли и выполняемых ими технических и научных задачах.

ЗАДАЧИ

1. Определите период обращения спутника, вращающегося вокруг Земли на высоте 1000 км. (Ответ: 105 мин.)

2. Определите, на какую высоту необходимо запустить спутник связи, период которого должен быть равен периоду вращения Земли вокруг своей оси. (Ответ: $\approx 42\,000$ км.)

§ 7. ПОДЪЕМНАЯ СИЛА. ЭНЕРГИЯ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА

Из практических наблюдений учащиеся знают множество примеров движения жидкостей и газов. Им также известно, что тела при движении в жидкости и газе испытывают сопротивление.

Можно вывести формулу лобового сопротивления

$$F = \rho S v^2,$$

где ρ — плотность среды;

v — скорость потока жидкости или газа;

S — площадь эффективного сечения.

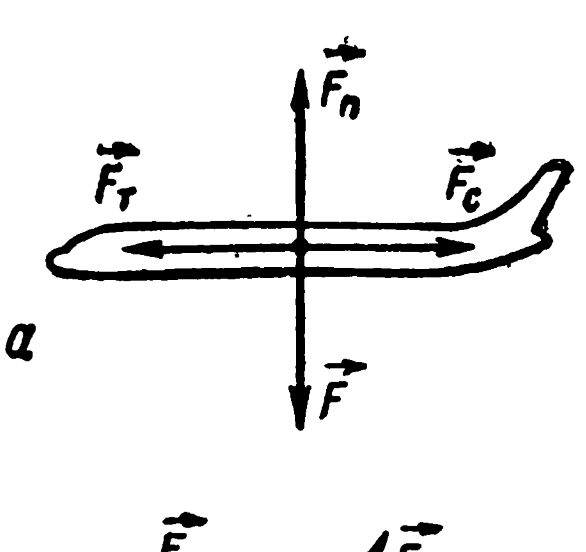
Зависимость силы сопротивления от формы тела, помещенного в воздушный поток, можно продемонстрировать с помощью аэродинамических весов и наборов обтекаемых тел (Д. Э., т. 1, опыт 111). При этом следует объяснить, что подъемная сила представляет собой составляющую полной аэродинамической силы, действующей на тело при его движении в жидкой или газообразной среде. Например, при равномерном движении самолета на него действуют следующие силы (рис. 34, *а*): сила тяги винта или реактивной струи $\vec{F}_т$ (вперед), сила лобового сопротивления $\vec{F}_с$ (назад), подъемная сила $\vec{F}_п$ (вверх), сила тяжести $\vec{F}$ (вниз). Подъемная сила и сила лобового сопротивления образуют аэродинамическую силу.

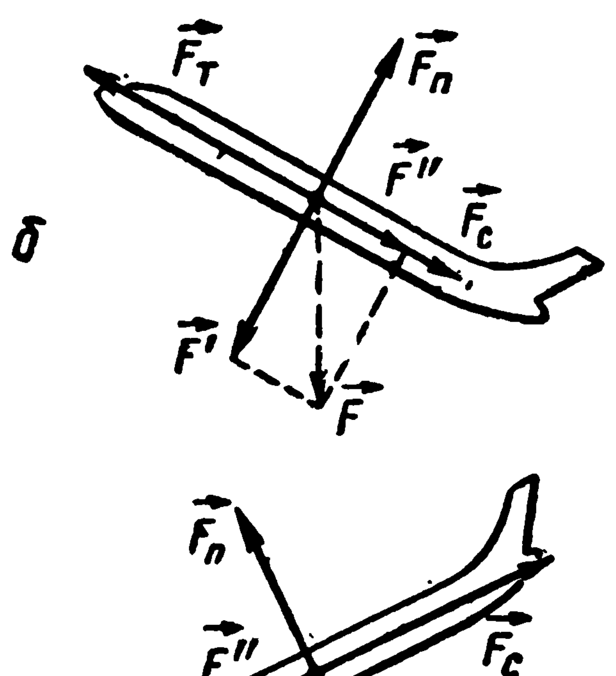
Возникновение подъемной силы крыла самолета можно показать с помощью модели крыла, изготовленной из жести размером 140×50 мм (Д. Э., т. 1, опыт 113). В этом опыте модель

крыла устанавливают на расстоянии 20—30 см от воздуходувки. Трубкой-зондом, соединенной с микроманометром, определяют разность давлений под крылом и над ним. На этом опыте учащиеся убеждаются, что разность давлений под крылом и над ним может обеспечить подъемную силу крыла самолета.

Верхняя поверхность крыла специально делается более выпуклой, чем нижняя. При обтекании воздухом скорость потока вдоль верхней части крыла будет больше (а давление соответственно меньше), чем вдоль нижней части. Из-за разности давлений и возникает подъемная сила.

Полезно предложить учащимся решить, например, такую задачу: «Какую площадь должны иметь крылья, чтобы при разности давлений $5 \cdot 10^2$ Па создавалась подъемная сила, достаточная для горизонтального полета самолета массой 3 т?» (Ответ: $S = \frac{F}{p} \approx 60$ м².)





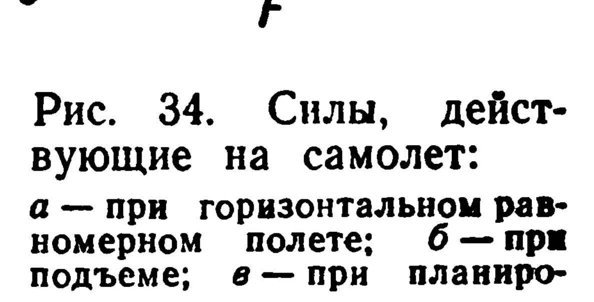


Рис. 34. Силы, действующие на самолет:
а — при горизонтальном равномерном полете; *б* — при подъеме; *в* — при планировании.

Необходимо, чтобы учащиеся поняли, что при подъеме самолета подъемная сила должна быть меньше силы тяжести, а сила тяги больше силы лобового сопротивления. При планировании сила тяги может быть меньше силы лобового сопротивления (рис. 34, *б* и *в*). При разборе принципов движения самолета следует продемонстрировать кинофильм «Физические основы полета самолета» или диафильм того же названия.

Учащимся полезно предложить в качестве закрепления разобраться в возникновении подъемной силы у вертолета (у которого винт создает не только подъемную силу, но и обеспечивает при соответствующих углах наклона винта движение вертолета вперед, назад или в сторону) и у судов на подводных крыльях (рис. 35).

Далее следует ознакомить учащихся со схемой и принципом действия ветродвигателя (рис. 36). Энергия ветра заставляет вращаться ветроколесо *1*, вращение от которого через систему редукторов *2* и *5* передается рабочей машине *6*.

На лопасть ветроколеса при обтекании ее воздушным потоком действуют подъемная сила и сила лобового сопротивления. Подъемная сила создает вращающий момент. Для того чтобы

создавалась наибольшая подъемная сила, т. е. чтобы мощность ветродвигателя была максимальной, и колесо всегда было расположено против ветра, ветроколесо снабжают специальным устройством — виндрозами *3* (см. рис. 36), плоскость которых перпендикулярна плоскости вращения рабочего ветрового колеса. Если колесо не строго перпендикулярно воздушному потоку, виндрозы начинают вращаться и с помощью специального передаточного механизма поворачивают ветровое колесо до тех пор, пока оно не станет строго против ветра.

Коэффициент полезного действия ветродвигателей не превышает 40%.

В связи с рассмотрением этого материала можно предложить учащимся рассчитать мощность, которую может давать ветродвигатель при скорости ветра 7 м/с, если диаметр поверхности, ометаемой колесом ветродвигателя, 12 м. Задача решается так. Масса воздуха, проходящего за 1 с через ометаемую поверхность,

$$m = \rho V = \rho S v,$$

где V — объем воздуха; v — его скорость.

$$m = 1{,}3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3{,}14 \cdot 6^2\ \text{м}^2 \cdot 7\ \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 10^3\ \text{кг}.$$

Энергия, которой обладает эта масса воздуха,

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{10^3 \cdot 49}{2}\ \text{Дж} \approx 2{,}5 \cdot 10^4\ \text{Дж},$$

а мощность, развиваемая ветродвигателем (принимаем, что КПД $\eta = 0{,}35$), примерно равна

$$N = \eta\ \frac{E}{t} \approx 8{,}8\ \text{кВт}.$$

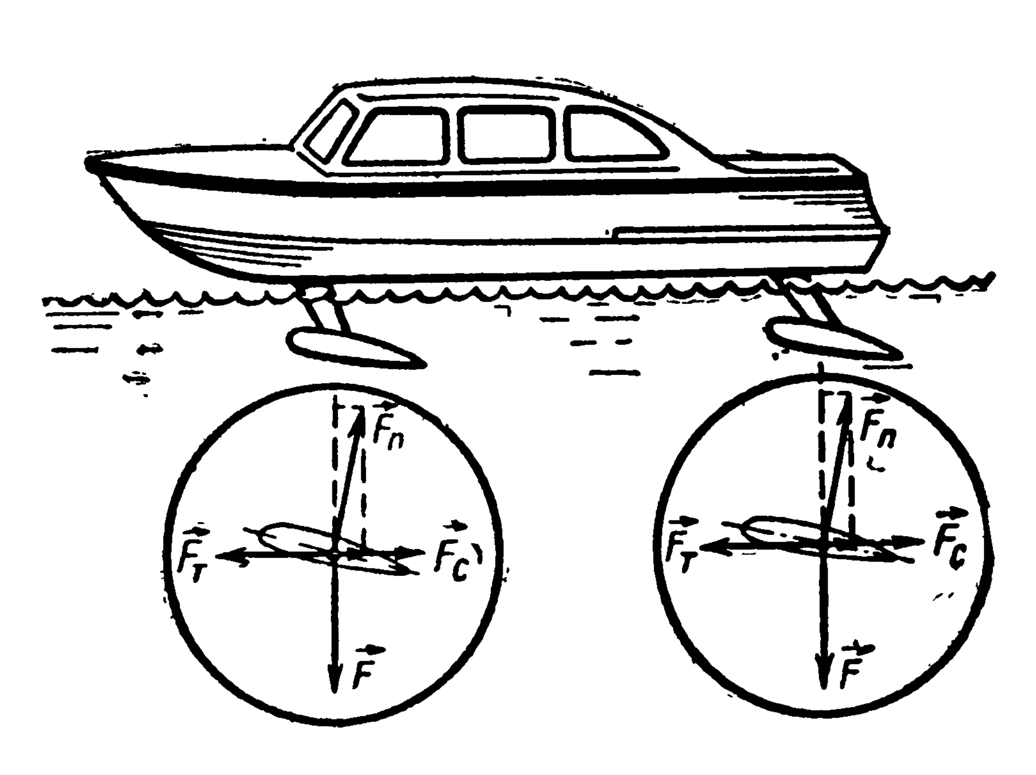


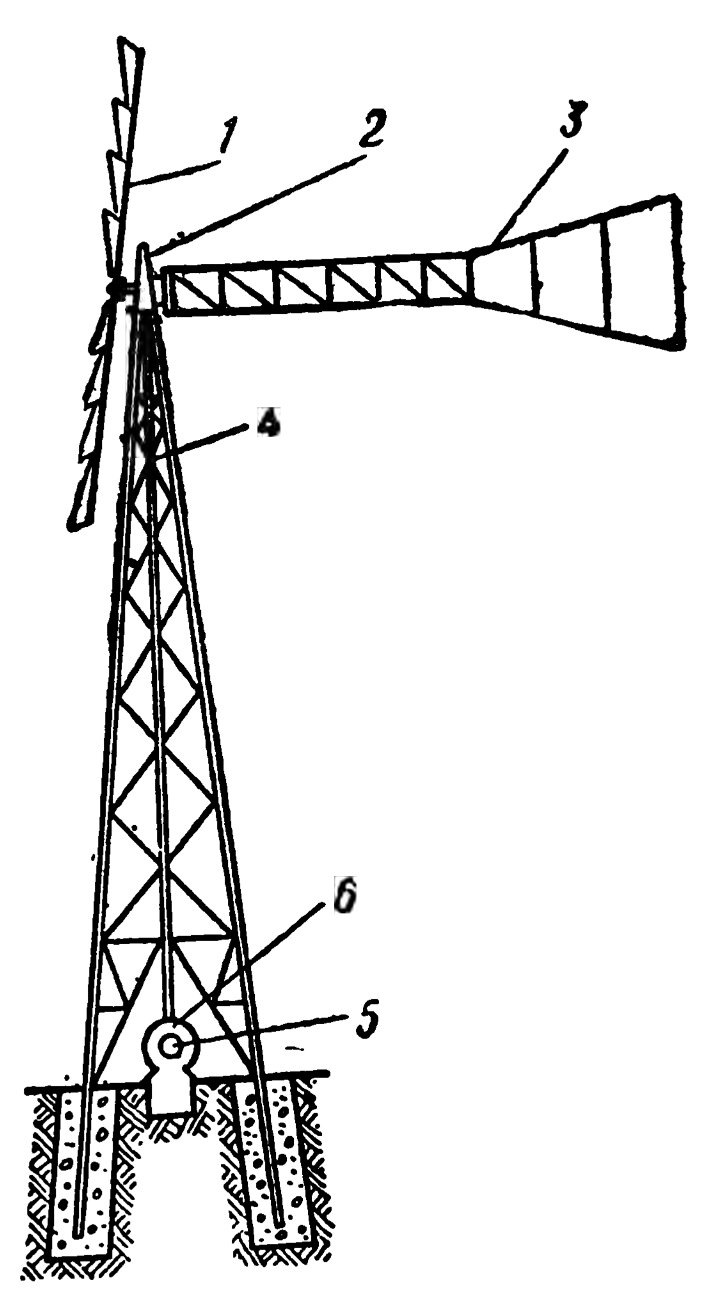
Рис. 35. Образование подъемной силы при движении корабля на подводных крыльях.

При демонстрации действия ветродвигателя можно воспользоваться самодельной установкой (Д. Э., т. 1, опыт 116). Направив воздушный поток от вентилятора на ветроколесо, наблюдают, что оно приходит в движение, а лампочки загораются.

На примере ветродвигателя может быть показана связь физики и техники. Ведь ветряная мельница, которая в те-

чение столетий использовалась для помола зерна, есть не что иное, как простейший ветродвигатель. Отмечая роль мельниц в развитии физики и техники, можно утверждать, что на примере мельницы было создано учение о трении, проведены исследования зубьев и зубчатой передачи. Ветряная мельница является типичным примером устройства, созданного на базе опыта без привлечения научных знаний.

Теоретические основы работы ветроколеса были заложены русским ученым Н. Е. Жуковским, который показал, что наибольший



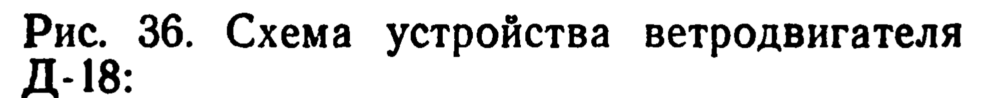


Рис. 36. Схема устройства ветродвигателя Д-18:

1 — ветроколесо; *2* — верхний редуктор; *3* — виндроза; *4* — вертикальный вал; *5* — нижний редуктор; *6* — рабочая машина.

коэффициент использования энергии ветра у ветроколеса равен 0,593.

В таблице 2 показана зависимость мощности ветроколеса от скорости ветра для различных диаметров ветроколес.

Таблица 2

Скорость ветра, м/с	4	5	6	7	8	9	10 и более
Диаметр ветроколеса, м	Мощность на ветроколесе, кВт						
2	0,042	0,083	0,145	0,23	0,345	0,345	0,345
8	0,69	1,34	2,32	3,7	5,5	5,5	5,5
12	1,55	3,3	5,25	3,25	12,4	12,4	12,4
30	9,6	18,9	32,6	51,6	77,3	110,0	151,1

При расчете данной таблицы КПД принимался равным 0,35. Таким образом, расчет, который был выполнен выше, с хорошей точностью совпадает с табличными результатами.

В настоящее время широкое распространение получили ветроэнергетические установки Д-12, Д-18, Д-30, «Сокол», «Бу-

ран», «Беркут», «Ветерок». Ветроэнергетические установки с успехом применяются для целей мелиорации, водоснабжения, осушения заболоченных участков, для энергоснабжения удаленных и труднодоступных объектов (в основном сельскохозяйственных). Конечно, экономически целесообразно использовать ветроэнергетические установки там, где достаточно велика скорость ветра. Как правило, она наибольшая около больших водных пространств (океанов, морей, озер, крупных рек) и в горах. Например, в Поволжье, Казахстане, на Алтае ветроустановки эффективно работают 200—300 дней в году.

После ознакомления с материалом этого параграфа учащиеся должны знать, как определяется подъемная сила крыла, схему и расчет мощности ветроэлектродвигателя.

ЗАДАЧИ

1. Какие силы действуют на самолет при его равномерном полете?
2. Определите разность давлений воздуха у верхней и нижней поверхностей крыла, если для подъема самолета массой 500 кг необходима площадь крыльев 25 м^2. (Ответ: $2 \cdot 10$ Па.)
3. Определите мощность ветродвигателя при скорости ветра 9 м/с, если диаметр поверхности, ометаемой колесом, 8 м, а КПД равен 0,3. (Ответ: $\approx 4{,}7$ кВт.)
4. Определите мощность воздушного потока, набегающего на автомобиль «Жигули» при скорости 72 км/ч, если площадь лобовой поверхности машины 2 м^2. Плотность воздуха 1,3 кг/м^3. (Ответ: 10,4 кВт.)

§ 8. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА. СХЕМА И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Изучение вопросов энергетики является важной частью политехнического обучения в курсе физики, так как связано не только с разбором учащимися определенного раздела техники, но и с усвоением ими социально-экономических проблем технического развития.

Сначала следует обсудить, какое место занимает гидроэнергетика в общей системе энергетического хозяйства. Наша страна значительно превосходит другие страны мира по запасам гидроресурсов. Общий гидроэнергетический потенциал всех рек земного шара составляет 32 900 ТВт·ч в год, из них на долю СССР приходится 3950 ТВт·ч в год, из которых технически возможны для использования около 2100 ТВт·ч.

Производство электроэнергии на гидроэлектростанциях имеет ряд преимуществ. Прежде всего ГЭС используют «возобновляемое топливо» — водную энергию. Кроме того, гидроэлектростанции обладают высокими эксплуатационными качествами: малым временем пуска (1—2 мин) и остановки, очень небольшим потреблением энергии на собственные нужды.

Гидроэнергетика имеет очень большое народнохозяйственное значение для водоснабжения, орошения земель, использования

водной среды для рыбного хозяйства. На базе гидроузлов и водохранилищ сейчас орошается 1,2 млн. га земель и используется около 5 тыс. км глубоководных путей.

Объяснение устройства и принципа действия гидроэлектростанции следует проводить по диапозитиву «Схема гидроэлектростанции». Можно также использовать ту часть серии диапозитивов «Электрические машины и трансформаторы», на которой показана работа ГЭС и гидрогенератора.

Любая гидроэлектростанция характеризуется двумя основными величинами, определяющими ее мощность: напором воды H и расходом воды в единицу времени Q. Работу, которую в 1 с совершает падающая вода, определяют по формуле:

$$A=\rho g v H.$$

Тогда мощность

$$N=\rho g H Q \eta,$$

где η — КПД турбины.

Например, при перепаде высот 100 м и расходе воды $5\cdot 10^3$ м^3/с мощность станции составляет $N=4{,}5\cdot 10^6$ кВт$=$ $=4{,}5$ млн. кВт. (При расчете η принят равным 0,93.)

КПД турбин зависит от их конструкции и нагрузки, причем для турбин диаметром порядка 1 м КПД составляет 0,88—0,91; с увеличением размеров КПД растет и у турбин диаметром 10 м составляет 0,94.

Так как КПД — величина, близкая к единице, то мощность турбины определяется расходом воды и высотой плотины, при этом легко понять, что произведение этих величин (отнесенное к 1 кВт·ч электроэнергии) есть величина постоянная; это можно увидеть в приводимой ниже таблице 3.

Таблица 3

Средний напор, м . .	5	15	25	50	75	100
Расход воды на выработку 1 кВт·ч электроэнергии, м^3	90	30	18	9	6	4,5

Механическая энергия воды преобразуется в электрическую энергию в генераторе, который, как правило, находится на одном валу с турбиной. Если гидроагрегат имеет не очень большую мощность, то иногда применяют промежуточную передачу для соединения турбины с генератором, при этом увеличивается число оборотов генератора и уменьшаются его габариты.

КПД генератора определяется его мощностью и может иметь значение от 0,95 (у генераторов мощностью 5 МВт) до 0,99 (у генераторов мощностью 500 МВт).

Действие гидротурбины можно показать с помощью модели гидротурбины, подключенной через патрубок к водопроводу и соединенной с электрогенератором общим приводным ремнем (Д. Э., т. 1, опыт 103). Электрогенератор нагружен маловольтными электрическими лампочками. При вращении гидротурбины лампочки загораются.

Количество воды, подводимой к турбине, определяется ее расходом и напором, а количество отводимой энергии зависит от электрической нагрузки генератора. Таким образом, на вал турбины действует в одном направлении крутящий момент, передаваемый рабочим колесом, а в противоположном направлении — момент сопротивления генератора, зависящий от нагрузки его сетью.

Учащимся следует сообщить некоторые данные о гидрогенераторах. Например, гидрогенератор, установленный на Красноярской ГЭС им. 50-летия СССР, имеет мощность 500 кВт при скорости вращения 93,8 об/мин; масса генератора 1650 т, вырабатываемое напряжение — 15 750 В. По своим характеристикам этот генератор уникален.

Учащиеся должны знать, какие гидроэлектростанции сооружены в Советском Союзе за последнее время и каковы перспективы развития гидроэнергетики в СССР.

В таблице 4 приведены данные о крупнейших гидростанциях мира. Из нее видно, что самые мощные ГЭС построены в СССР.

Таблица 4

Название ГЭС	Река, на которой работает ГЭС	Год пуска первого агрегата	Мощность ГЭС, ГВт (или млн. кВт)
Саяно-Шушенская[1]	Енисей, СССР		6,4
Красноярская им. 50-летия СССР	Енисей, СССР	1967	6,0
Братская им. 50-летия Великого Октября	Ангара, СССР	1961	4,1
Джон-Дей	Колумбия, США	1968	2,7
Волжская им. XXII съезда КПСС	Волга, СССР	1958	2,53
Волжская им. В. И. Ленина	Волга, СССР	1955	2,3
Грэнд-Кули	Колумбия, США	1941	1,97
Роберт-Мозес	Св. Лаврентия, США	1959	1,74

В десятой пятилетке решениями XXV съезда КПСС намечено завершить строительство Усть-Илимской (мощностью 4,32 ГВт), Нурекской (2,7 ГВт), Ингурской (1,3 ГВт), Зейской (1,29 ГВт) гидроэлектростанций; ввести в действие первые

[1] Строящаяся станция. Первые гидроагрегаты на Саяно-Шушенской ГЭС будут введены в действие в текущей пятилетке.

агрегаты на Саяно-Шушенской, Днестровской, Колымской ГЭС; ввести мощности на Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС; развернуть строительство Бурейской, Курпсайской гидроэлектростанций; начать сооружение Богучанской, Шульбинской и Рогунской ГЭС.

Особое внимание обращено на сооружение преимущественно крупных гидроузлов, позволяющих комплексно решать задачи производства электроэнергии, орошения земель, обеспечения водой городов и промышленных предприятий и др.

После ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны знать принцип действия и устройство гидроэлектростанции, перспективы развития гидроэнергетики в СССР.

ЗАДАЧИ

1. Укажите преимущества гидроэлектростанций.

2. Почему мощные гидроэлектростанции строят не на горных реках, где вода движется с большой скоростью, а на спокойных реках Сибири?

3. Подсчитайте мощность гидроэлектростанции, проектируемой на реке, где расход воды 10^3 м^3/с, а предполагаемый перепад высот, создаваемый плотиной, 125 м. КПД принять равным 0,9. (Ответ: $1{,}1 \cdot 10^6$ кВт.)

ЛИТЕРАТУРА

Баканина Л. П. Силы трения. — «Квант», 1973, № 9.

Билимович Б. Ф. Законы механики в технике. М., «Просвещение», 1975.

Бялко А. В. Коэффициент полезного действия ракеты. — «Квант», 1973, № 2.

Гильберт Л. А. Ракеты и ракетные двигатели. «Знание», 1972.

Глушко В. П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. М., Изд-во АПН РСФСР, 1973.

Енохович А. С. Справочник по физике и технике. М., «Просвещение», 1976.

Каган В. М. Ознакомление учащихся с новой техникой. М., «Просвещение», 1968.

Костецкий Б. И. Трение, смазка и изиос в машинах. «Техника», Киев, 1970.

Серегин А. В. Путь в космос. М., «Просвещение», 1974.

Эвенчик Э. Е. Политехническое обучение школьников в преподавании механики. — «Физика в школе», 1975, № 4.

ГЛАВА II

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Теплотехника, начавшая свое бурное развитие после конца XVIII в., когда Джеймсом Уаттом был изобретен паровой двигатель, является важной отраслью техники, обеспечивающей создание двигателей для транспорта, энергетики, космонавтики.

В курсе физики IX класса, придерживаясь приводимой ниже схемы (см. табл. 5), можно изучить некоторые элементы теплотехники.

Таблица 5

Раздел курса физики	Раздел техники	Конкретный технический материал
Теплота	Теплотехника	Паровые машины Паровые турбины Газовые турбины Двигатели внутреннего сгорания Тепловые электрические станции

Изучение части этого материала (газовые турбины) должно быть проведено на факультативных занятиях.

§ 1. ПАРОВЫЕ МАШИНЫ

Паровой машиной называют тепловой поршневой двигатель, в котором потенциальная энергия водяного пара, поступающего из парового котла, превращается в механическую энергию воз-

вратно-поступательного движения поршня или вращательного движения вала.

Хотя по своим экономическим показателям паровые машины уступают двигателям внутреннего сгорания и в определенном смысле являются «вчерашним днем» техники, тем не менее полезно разобрать с учащимися принцип их действия, так как он в общих чертах совпадает с принципом работы двигателя внутреннего сгорания. Кроме того, при изучении этого материала весьма важно показать историю создания одного из важнейших технических устройств, во многом определившего развитие промышленности конца XVIII и XIX в.

На примере паровой машины можно проследить, как технические изобретения зачастую влияют на экономику многих стран и темпы промышленного развития. Паровая машина была изобретена в XVIII в. В это время развивающиеся производства (в основном текстильное и угольное) требовали новых двигателей, отвечающих существовавшему уровню производства. Широко использовавшиеся водяные и ветровые колеса, от которых работали молоты, вороты, сверлильные и токарные станки, лесопильные рамы и другие устройства, имели низкий КПД и локальность применения. Развивающееся горное дело и угольная промышленность требовали откачки воды из глубоких шахт, и здесь уже малоэффективные водяные двигатели не могли помочь. Возникала потребность в создании универсального двигателя.

Первые паровые установки работали за несколько десятилетий до появления работ Джеймса Уатта. Широко использовались установки Ньюкомена—Коули, которые, работая 90 лет, не совершили промышленного переворота. Заслуга Уатта заключалась в кардинальном усовершенствовании парового двигателя и в увеличении его КПД в 2,8 раза. Начиная с 80-х годов XVIII в. и до начала XX в. в течение примерно 120 лет паровой двигатель Уатта был основной энергетической установкой. На рисунке 37 показано графически, как изменялась общая установленная мощность паровых двигателей в течение XIX в.

Принцип работы паровой машины заключается в следующем. Через входной патрубок *7* (рис. 38) поступает свежий пар, под давлением которого в цилиндре *1* перемещается поршень *2*. От поршня движение передается через шток *3* и шатун *4* на вал *5*.

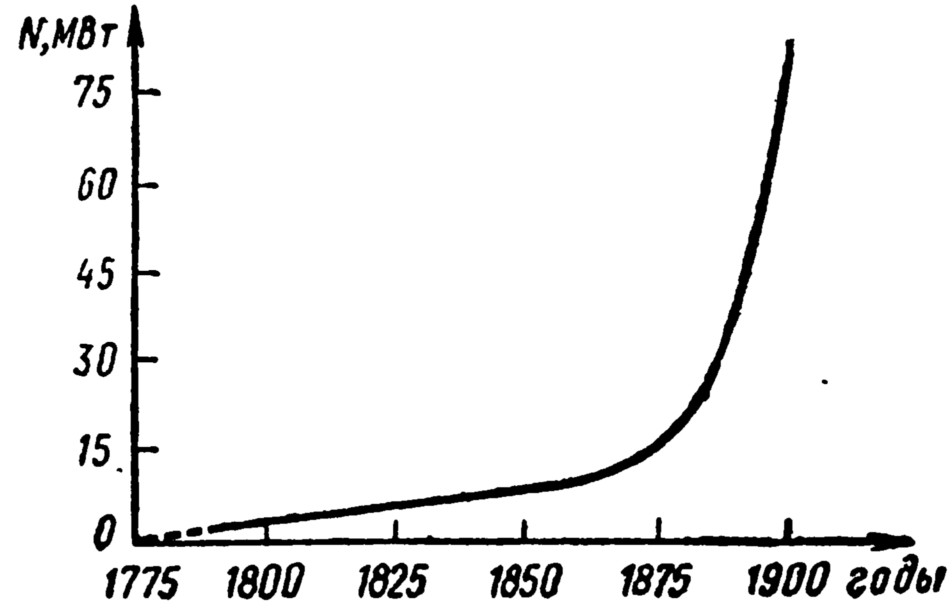


Рис. 37. Мировая тенденция увеличения мощности паровых машин в XIX в.

Цикл паровой машины осуществляется за

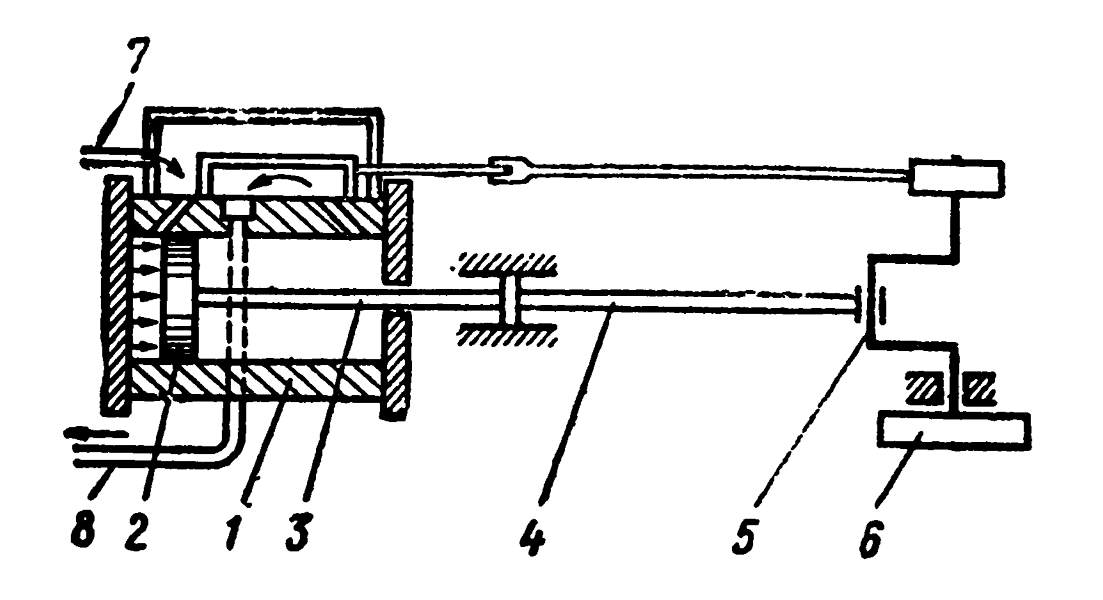


Рис. 38. Схема паровой машины:
1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — шток; 4 — шатун; 5 — вал; 6 — маховое колесо; 7 — входной патрубок; 8 — выходной патрубок.

один полный оборот вала 5, т. е. за два хода поршня. Поршень совершает рабочий ход от момента впуска пара и его расширения в левой части цилиндра. При ходе поршня влево отработанный пар выпускается, а часть его сжимается в объеме вредного пространства. На рисунке 38 показано такое положение поршня, при котором свежий пар начал поступать в цилиндр, а отработанный пар выходит через патрубок 8.

За время одного цикла давление не остается постоянным, а меняется в широких пределах. Внешние нагрузки и сопротивления остаются примерно постоянными. Поэтому в отдельные моменты цикла развиваемая поршнем мощность оказывается больше, а в другие моменты меньше потребляемой мощности. Для выравнивания хода паровой машины применяются маховые колеса 6. Избыточная энергия аккумулируется в виде кинетической энергии махового колеса; она отдается рабочим механизмам в те моменты, когда давление (и развиваемая поршнем мощность) падает. Такое регулирование при помощи махового колеса не изменяет мощности паровой машины. Отработанный пар выпускается в атмосферу или в конденсатор, через который пропускают холодную воду.

Объяснение работы паровой машины желательно сопровождать демонстрацией действующей модели паровой машины (Д. Э., т. 1, опыт 166).

Коэффициент полезного действия паровых машин в настоящее время поднят до 20—25%, что является предельным техническим значением. Паровые машины находят применение там, где могут в полной мере использоваться их преимущества: надежность, долговечность, простота обслуживания, возможность длительных перегрузок. В ряде сельских хозяйств еще применяются локомобили. Производство паровозов в СССР прекращено ввиду их низкого КПД, они повсеместно вытеснены тепловозами и электровозами, имеющими более высокие экономические показатели. Пароходы, которые еще ходят по некоторым рекам, уже отживают свой век и являются в определенной степени техническим анахронизмом.

Однако в последнее время исследователи многих стран опять обратились к паровым двигателям. Связано это в первую очередь с тем, что все существующие тепловые двигатели (особен-

но двигатели внутреннего сгорания) загрязняют окружающую среду выхлопными газами. Поэтому разработано несколько конструкций автомобилей, работающих с паровыми двигателями. Наиболее крупные из выпущенных сейчас двигателей имеют мощность 520 кВт (700 л. с.), при этом масса двигателя вместе с котлом и нагревателем составляет всего 360 кг, что в 3—4 раза меньше массы дизелей и примерно на 40% меньше массы карбюраторных двигателей той же мощности. Другое преимущество паровых двигателей определяется отсутствием у них сцепления и коробки передач, так как коленчатый вал соединяется напрямую с ведущим мостом автомобиля. Все это приводит к практически бесшумной работе паровых автомобилей.

После знакомства с содержанием этого параграфа учащиеся должны знать конструкцию и характеристики паровой машины.

§ 2. ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

Паровая турбина (рис. 39) представляет собой двигатель, в котором внутренняя энергия пара преобразуется в механическую работу в два этапа:

1) в сопле *1* или в группе параллельно включенных сопел, образующих сопловую решетку, потенциальная энергия пара преобразуется в кинетическую энергию струи, вытекающей с большой скоростью (100—1000 м/с);

2) вследствие поворота струи в рабочих лопатках *2* кинетическая энергия пара преобразуется в работу вращения диска *3* и связанного с ним вала *4*.

Сопловой аппарат вместе с соответствующими рабочими лопатками образует ступень давления. Показанная на рисунке турбина является одноступенчатой активной турбиной.

Относительный КПД установки увеличивается при использовании турбины со ступенями давления, состоящей из чередующихся сопел и рабочих лопаток. Скорость пара в такой турбине падает на рабочей лопатке, но затем увеличивается в сопле за счет снижения давления пара (рис. 40; на рисунке видно, что кривая давлений постепенно понижается, а кривая скорости имеет пилообразный вид). Обычно число ступеней турбины составляет от 6 до 30.

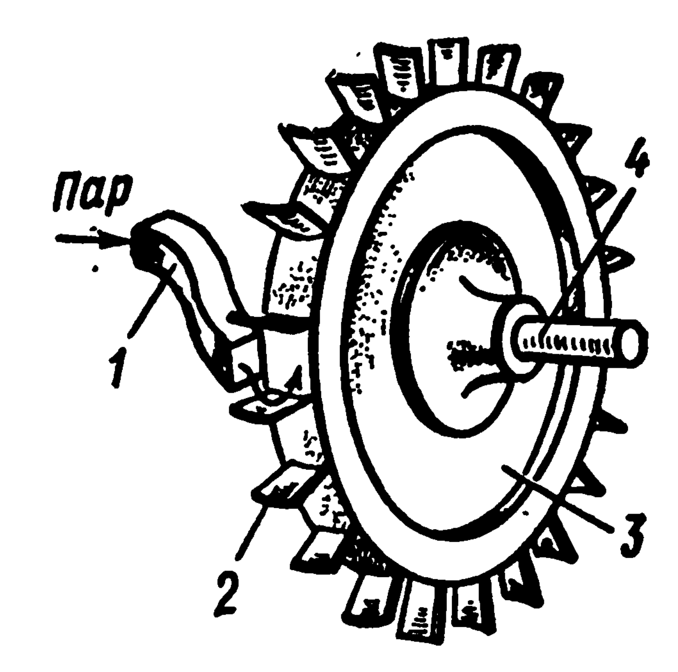


Рис. 39. Одноступенчатая паровая турбина:
1 — сопло; *2* — лопатки турбины; *3* — диск; *4* — вал.

Анализ работы активных турбин со ступенями скорости и ступенями давления показывает, что у первого типа турбин на первых двух-трех ступенях энергия перегретого пара используется достаточно эффективно.

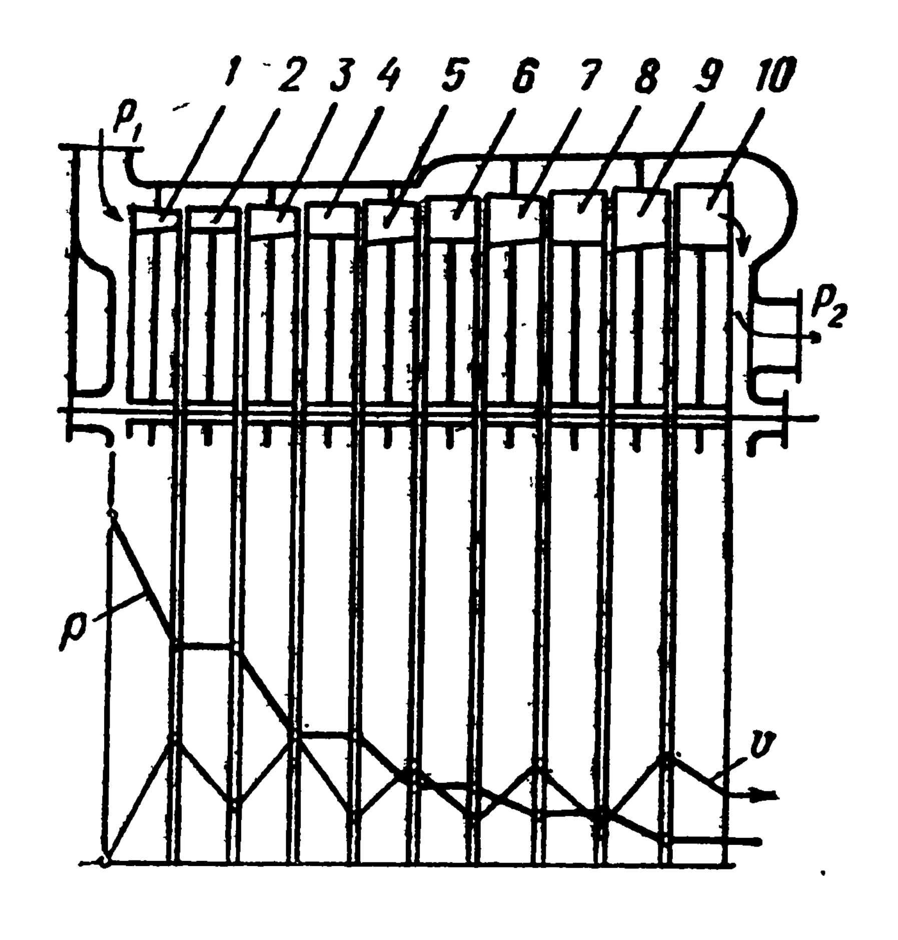


Рис. 40. Активная турбина со ступенями давления:
1—10 — лопатки.

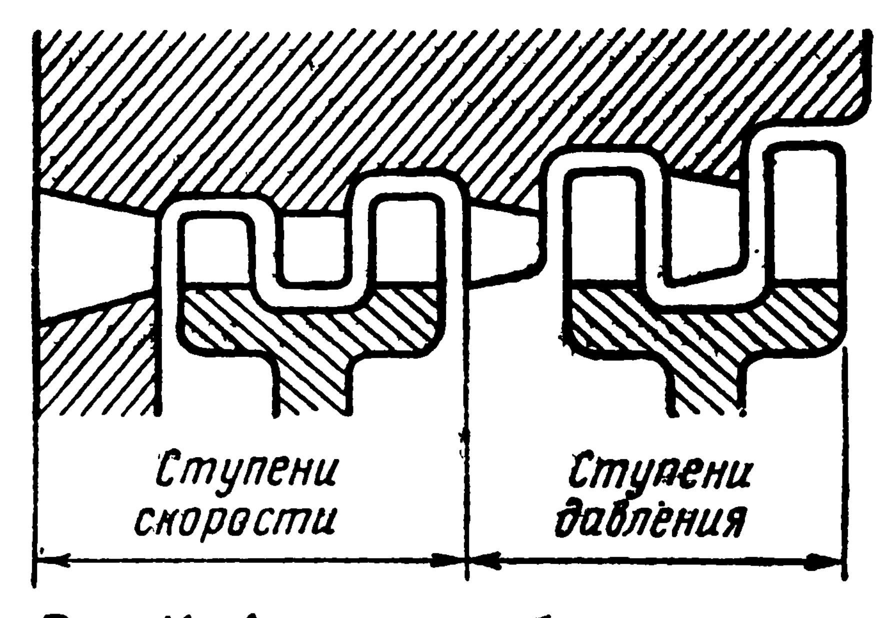


Рис. 41. Активная турбина со ступенями скорости и давления.

При понижении давления энергия пара используется на ступенях давления. Поиски оптимального варианта привели к созданию комбинированных активных турбин со ступенями скорости и давления (рис. 41). На ступенях скорости происходит понижение температуры, поэтому лопатки ступеней давления можно сделать из более дешевых материалов. Эти экономические преимущества компенсируют некоторое понижение КПД комбинированной турбины из-за применения ступеней скоростей.

На рисунке 42 показана схема однодисковой турбины, созданной Лавалем в 1892 г. Диск *1* с рабочими лопатками *2* находится на валу *3*. Пар поступает через направляющее сопло *4* и со скоростью v_1 входит на лопатки, на выходе из которых он имеет скорость v_2.

Учащимся следует пояснить, что такие активные турбины не экономичны, так как пар уходит с лопаток с очень большими скоростями. Например, если начальная скорость v_1 равна 1000—1200 м/с, то скорость пара v_2 при выходе с лопаток составляет 400—500 м/с.

Двухступенчатая паровая турбина (рис. 43) работает так: пар из сопел подается на первый венец рабочих лопаток *2*, от которых отражается и попадает на неподвижные поворотные лопатки *3*. Второй венец рабочих лопаток *4* принимает на себя поток пара, отраженный от поворотных лопаток. Такая конструкция называется турбиной со ступенями скорости.

Учащиеся должны усвоить, что в активных турбинах со ступенями скорости преобразование потенциальной энергии пара в кинетическую происходит только в первом ряду сопел, при этом давление остается постоянным. Все это приводит к уменьшению КПД с ростом числа ступеней турбины.

Используя действующую модель паровой турбины, можно продемонстрировать принцип устройства и действия одноступенчатой паровой турбины (Д. Э., т. 1, опыт 166).

Газовая турбина работает аналогично паровой турбине; исключением является то, что в газовой турбине вместо пара используются продукты сгорания газа. Газотурбинный двигатель (рис. 44) устроен относительно просто — он состоит из трех основных элементов: камеры сгорания *3*, компрессора *1* и газовой турбины *2*. Атмосферный воздух поступает в компрессор, где он сжимается и затем подается в камеру сгорания, куда одновременно поступает топливо, впрыскиваемое системой форсунок. Продукты сгорания поступают в турбину, где и совершают работу. По этой схеме работают все газовые турбины, в частности, авиационные газовые турбины (рис. 45). В авиационной газовой турбине воздух, пройдя компрессор *1*, поступает в камеру сгорания *2*. Сюда же через форсунки *4* подается топливо; образующийся газ подается на лопатки турбины *3*.

Впервые принципиально верная конструкция газовой турбины была предложена англичанином Дж. Барбером. Большой вклад в развитие газотурбиностроения внес русский инженер

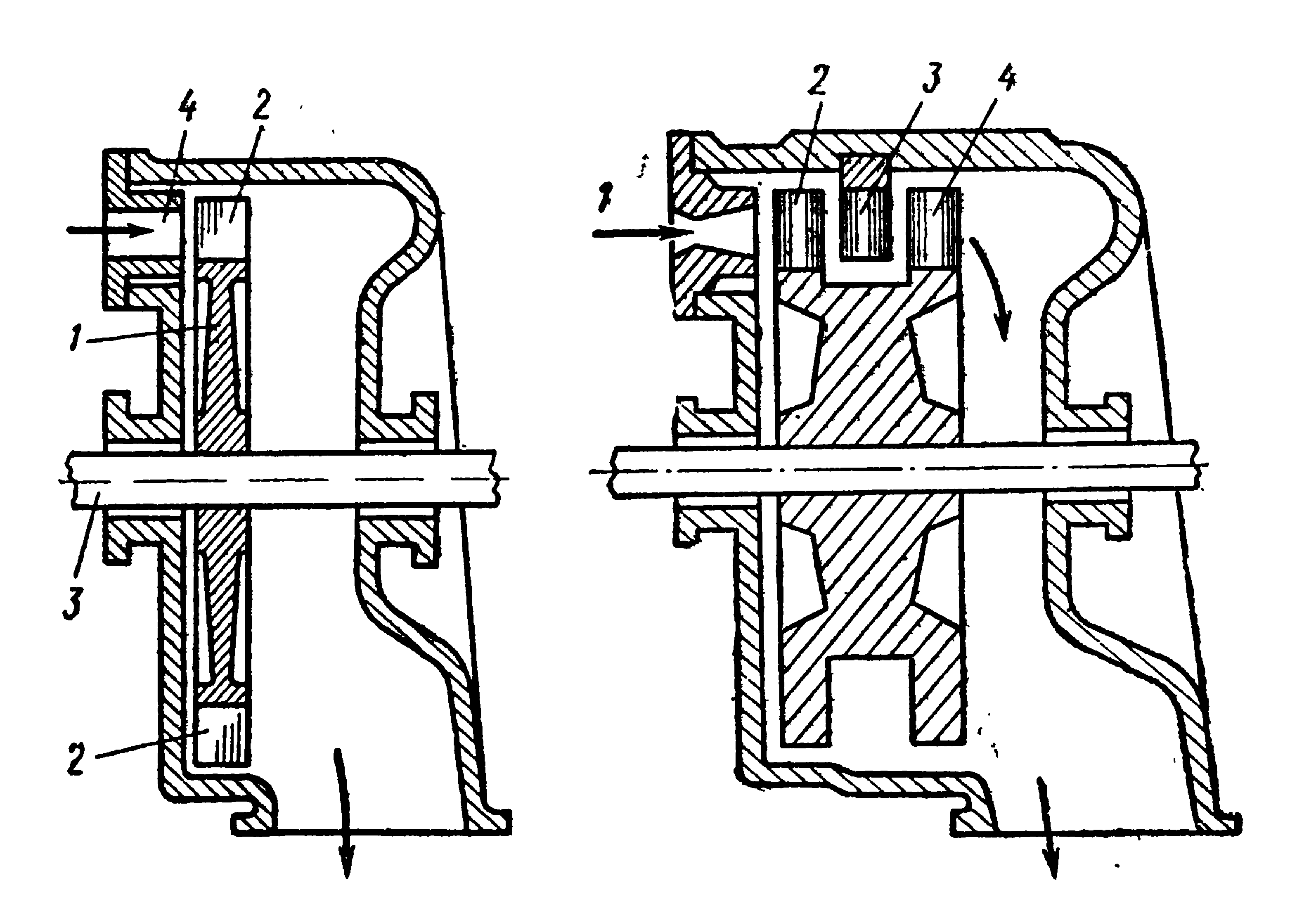


Рис. 42. Разрез одноступенчатой активной паровой турбины:
1 — диск; *2* — лопатки; *3* — вал; *4* — направляющее сопло.

Рис. 43. Разрез двухступенчатой паровой турбины:
1 — направляющее сопло; *2* — первый венец рабочих лопаток; *3* — неподвижные поворотные лопатки; *4* — второй венец рабочих лопаток.

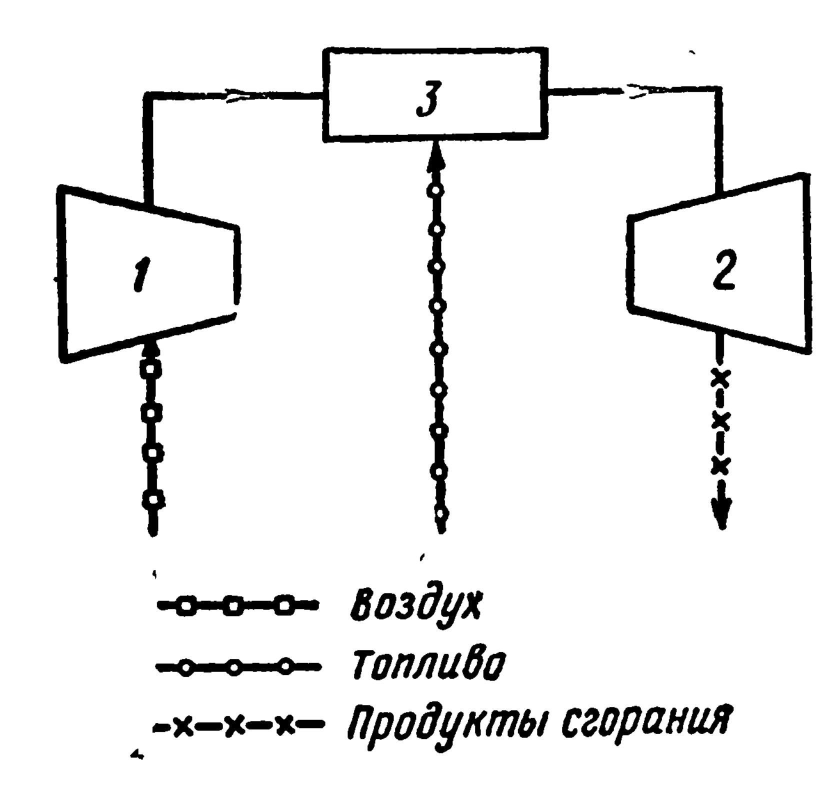


Рис. 44. Схема газотурбинной установки:

1 — компрессор; 2 — газовая турбина; 3 — камера сгорания.

П. Д. Кузьминский, разработавший и построивший газотурбинный двигатель для небольшого катера.

Принципиальное описание газотурбинного двигателя довольно простое. Однако на пути его внедрения в жизнь встали трудности, которые порой казались непреодолимыми. Одна из них заключалась в том, что до последнего времени не было создано материалов, способных подвергаться воздействию агрессивных газов, нагретых до 1000°С.

Газотурбинный двигатель с одинаковым успехом может работать на газе и бензине, дизельном топливе и керосине. Он малотоксичен. Это его свойство связано с тем, что при температурах 1000—2000°С топливо сгорает полностью; кроме того, продукты сгорания разбавляются холодным воздухом, который значительно уменьшает концентрацию токсичных веществ.

Внимание учащихся следует обратить на одну исключительно важную особенность газотурбинного двигателя. В нем используется вращательное движение, а в двигателе внутреннего сгорания — более сложное возвратно-поступательное движение, требующее вчетверо большего количества узлов. Поэтому газовая турбина работает без вибраций, присущих поршневым двигателям. Кроме того, скорость вращения турбины значительно выше скорости движения поршня, что позволяет при тех же объемах двигателя получить бóльшую мощность.

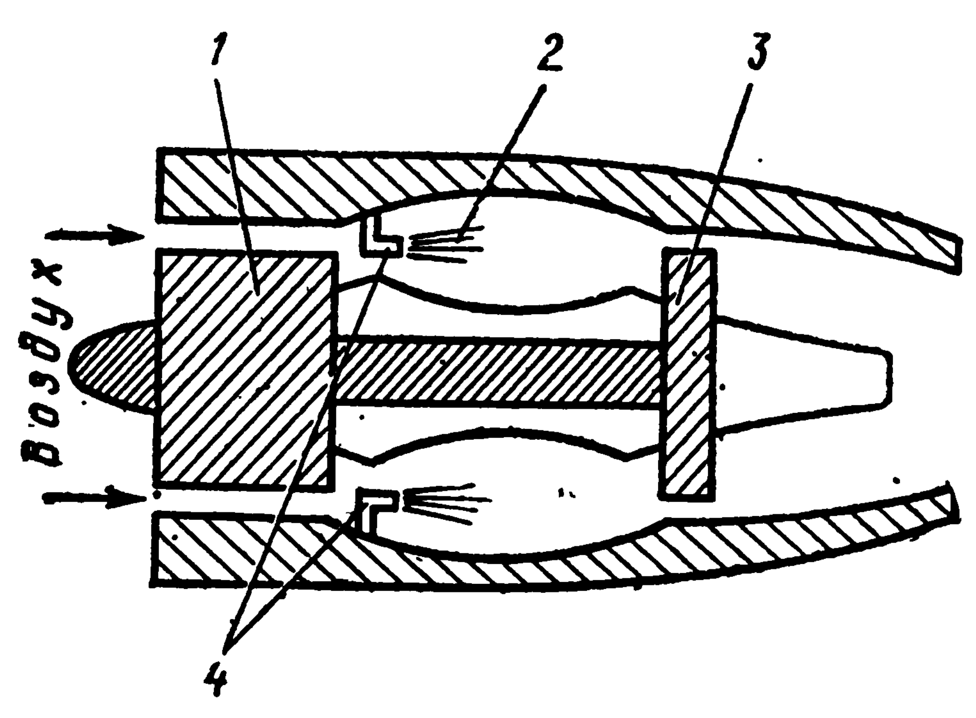


Рис. 45. Устройство авиационного газотурбинного двигателя:

1 — компрессор; 2 — камера сгорания; 3 — турбина; 4 — форсунки.

В настоящее время газовые турбины установлены на многих типах самолетов, ими оснащены турбовинтовые Илы и Аны и турбореактивные Ту и Яки.

Газовые турбины находят применение не только в авиации. Газотурбинные установки применяются в металлургии и химии. Разрабатываются конструкции газотурбин-

ных автомобилей и тракторов с расходом топлива меньшим, чем у двигателей внутреннего сгорания. Газотурбинные установки используются на газотурбовозах, которые по некоторым показателям (например, габаритам) имеют преимущества по сравнению с тепловозами. Силовая установка газотурбовоза состоит из газовой турбины, компрессора, генератора постоянного тока и тяговых электродвигателей. Газовая турбина обеспечивает электроэнергией тяговые электродвигатели. Газовые турбины находят весьма широкое применение в энергетике, где совместно с паровой турбиной образуют так называемую парогазовую установку, имеющую весьма высокий КПД (до 44%).

После изучения этого материала учащиеся должны знать схему и принцип работы одноступенчатой паровой турбины, устройство газовой турбины.

§ 3. ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Для того чтобы учащиеся поняли значение двигателей внутреннего сгорания в народном хозяйстве СССР, интересно привести весьма показательный факт: сейчас суммарная номинальная мощность поршневых двигателей внутреннего сгорания (без мотоциклетных двигателей и лодочных моторов) в несколько раз превышает установленную мощность всех электростанций страны. Двигатели внутреннего сгорания широко используются во всех отраслях народного хозяйства: устанавливаются на тракторах и комбайнах, автомобилях, автобусах, тепловозах, ими оснащаются речные и морские суда. Поэтому любой выпускник школы должен быть знаком с принципом действия основного вида двигателей, применяемых в народном хозяйстве.

Практика работы учителей показывает, что в городской школе полезней изучать карбюраторный двигатель, а в сельской школе — дизельный.

Двигателем внутреннего сгорания называют тепловой двигатель, в котором химическая энергия топлива, сгорающего в цилиндре, преобразуется в механическую работу.

Двигатели классифицируют:

1) по роду топлива (жидкие или газовые);

2) по схеме смесеобразования.

В двигателях с внешним смесеобразованием (карбюраторных) зажигание рабочей смеси в цилиндре производится электрической искрой. В другом типе двигателей (дизельных) смесеобразование происходит внутри цилиндра, топливо самовоспламеняется при впрыскивании его в сжатый воздух, нагретый до высокой температуры;

3) по способу заполнения цилиндра свежим зарядом (четырех- и двухтактные).

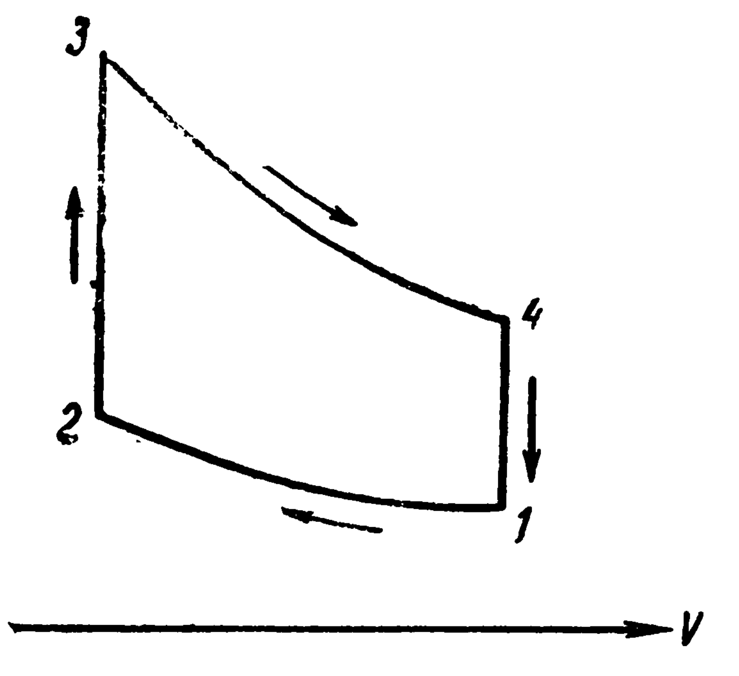


Рис. 46. p—V-диаграмма процессов, происходящих в четырехтактном карбюраторном двигателе.

Четырехтактный карбюраторный двигатель. Рабочий цикл четырехтактного карбюраторного двигателя внутреннего сгорания совершается за 4 хода поршня (такта), т. е. за 2 оборота коленчатого вала. При первом такте — впуске — поршень движется от верхней мертвой точки (в. м. т.) к нижней мертвой точке (н. м. т.). Впускной клапан при этом открыт, и горючая смесь поступает в цилиндр.

Второй такт — сжатие: поршень движется от н. м. т. к в. м. т., впускной и выпускной клапаны закрыты, и смесь сжимается. Температура смеси в конце сжатия составляет 200—400°С. В конце сжатия смесь поджигается электрической искрой — и топливо сгорает. Сгорание происходит при положении поршня, близком к в. м. т. В конце сгорания давление в цилиндре составляет $30 \cdot 10^5$—$60 \cdot 10^{-5}$ Па, а температура — 1600—2200°С.

Третий такт (расширение) называется рабочим ходом; во время этого такта тепло, полученное от сгорания топлива, преобразуется в механическую работу.

Четвертый такт (выпуск) происходит при движении поршня от н. м. т. к в. м. т. при открытом выпускном клапане. Отработавшие газы вытесняются поршнем.

Рассказ о работе двигателя внутреннего сгорания следует сопровождать показом модели-разреза двигателя внутреннего сгорания, выпускаемой Главучтехпромом, обращая внимание на согласование движения поршня и клапанов двигателя.

Желательно кратко проанализировать с учащимися p—V-диаграмму, соответствующую процессам, происходящим в четырехтактном карбюраторном двигателе (рис. 46) [1]. Смесь воздуха с топливом вводится в цилиндр через карбюратор перед сжатием (точка *1*). В конце сжатия (точка *2*) топливо хорошо подготовлено для сгорания и оно воспламеняется электрической искрой. Сгорание происходит настолько быстро, что процесс можно считать изохорическим *(2—3)*. После рабочего расширения *(3—4)* следует выхлоп *(4—1)*.

[1] Учитель, конечно, должен иметь в виду, что в действительности процессы в двигателе внутреннего сгорания не составляют замкнутого цикла, так как продукты сгорания после выхлопа имеют мало общего с исходной смесью топлива и воздуха. Поэтому p—V-диаграмма, приведенная на рисунке 46 (диаграмма так называемого цикла Отто), относится к идеализированному циклу карбюраторного двигателя.

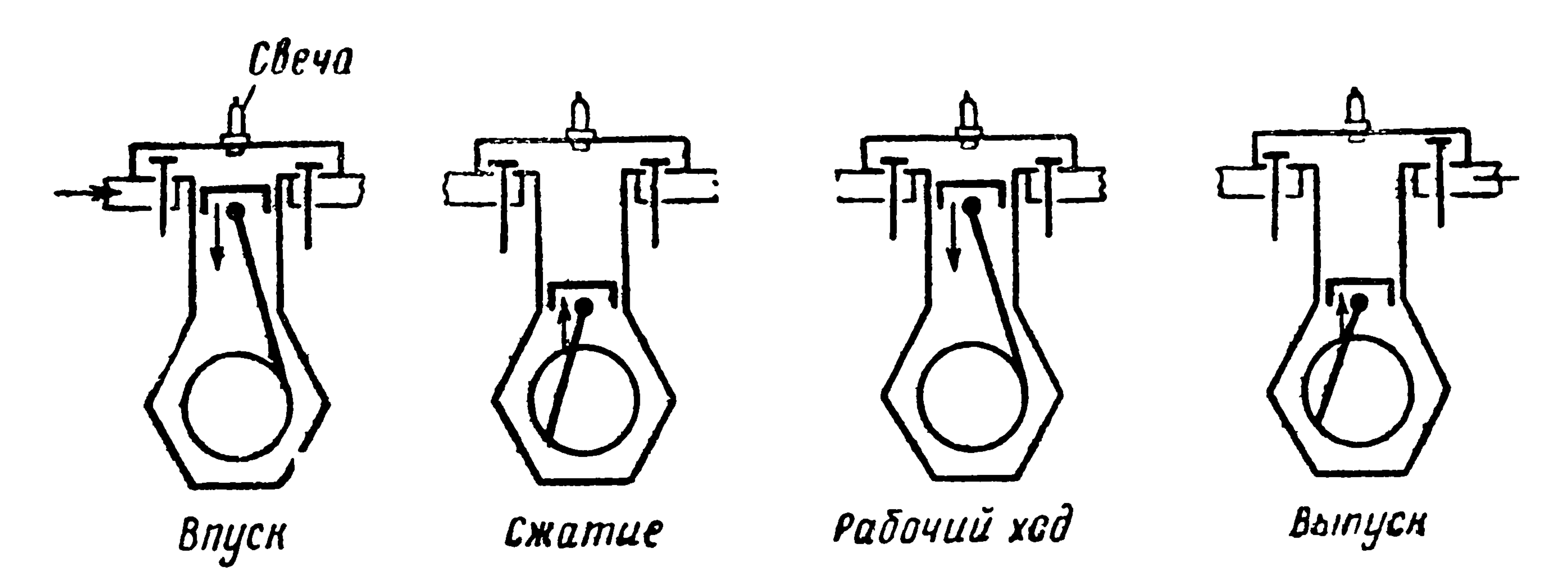


Рис. 47. Рабочий цикл четырехтактного поршневого двигателя.

Рабочий цикл карбюраторного двигателя внутреннего сгорания (рис. 47) может быть осуществлен при очень большой частоте вращения вала (3000—7000 об/мин). Нормальная горючая смесь состоит примерно из 15 частей воздуха и 1 части паров бензина (соотношение 15 : 1). Двигатель может работать на обедненной смеси (соотношение 18 : 1) или обогащенной смеси (соотношение 12 : 1). Слишком богатая или слишком бедная смесь вызывает значительное уменьшение скорости сгорания и не может обеспечить нормального протекания процесса сгорания.

В двигателях с внешним смесеобразованием горючая смесь образуется вне рабочего цилиндра, в специальном устройстве — карбюраторе (рис. 48), который состоит из двух камер — поплавковой и смесительной. Бензин по бензопроводу *8* подается в поплавковую камеру *1*, где плавает поплавок *2* с игольчатым клапаном *3*, регулирующий поступление бензина в камеру.

При движении поршня вниз из-за разности давлений открывается клапан *6*. Бензин по трубке *8* поступает в диффузор *9*, где смешивается с воздухом, поступающим по трубке *7*. Воздух захватывает бензин и распыляет его, после чего готовая горючая смесь поступает в цилиндр двигателя.

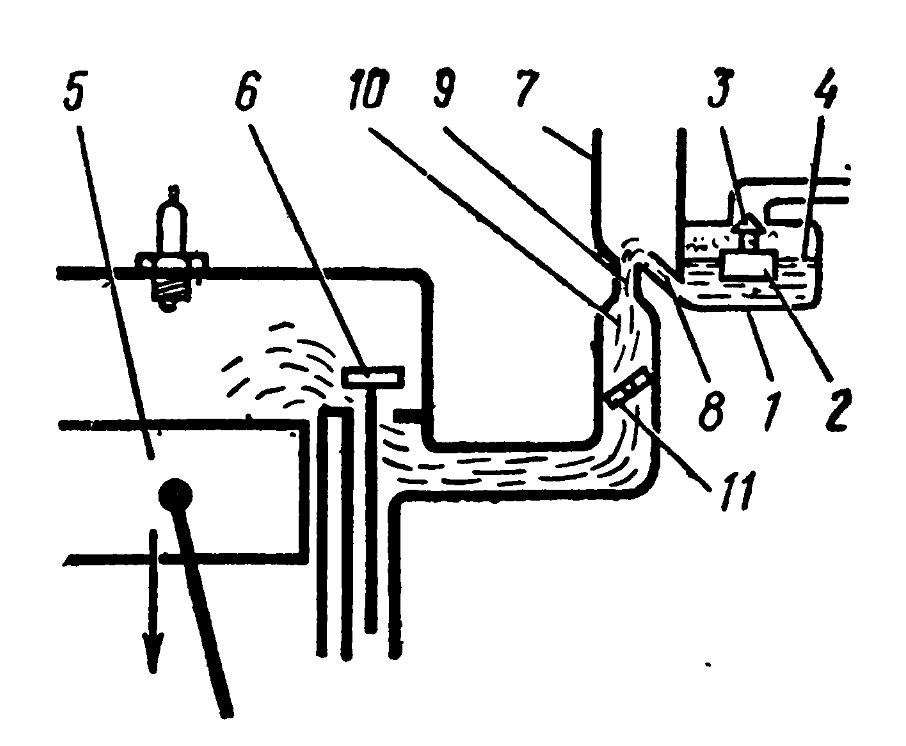


Рис. 48. Устройство карбюратора:
1 — поплавковая камера; *2* — поплавок; *3* — игольчатый клапан; *4* — уровень бензина; *5* — поршень; *6* — клапан; *7* — воздушная трубка; *8* — трубка подачи бензина; *9* — диффузор; *10* — поток рабочей смеси; *11* — заслонка.

При объяснении работы карбюратора полезно использовать таблицу «Карбюратор».

Желательно ознакомить учащихся со следующими

основными характеристиками рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания.

1. Ход поршня — расстояние между одним крайним положением поршня и другим (например, между положениями поршня в верхней мертвой точке и нижней мертвой точке).

2. Объем камеры сгорания V_c — объем внутренней полости цилиндра при положении поршня в верхней мертвой точке. Полный объем цилиндра V_a — объем внутренней полости цилиндра при положении поршня в нижней мертвой точке. Рабочий объем цилиндра V_h — объем, описываемый поршнем между мертвыми точками. Очевидно, что $V_a = V_c + V_h$.

Можно легко вывести еще одну важную характеристику рабочего цикла — степень сжатия [1]:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}.$$

Степень сжатия определяет, во сколько раз уменьшается объем цилиндра под поршнем, т. е. как сжимается горючая смесь в цилиндре при перемещении поршня из нижней мертвой точки в верхнюю мертвую точку.

Нужно подчеркнуть, что в карбюраторных двигателях степень сжатия нельзя увеличивать из-за опасности детонационного сгорания. Детонация же ограничивает максимальные размеры цилиндров двигателя; как правило, цилиндры карбюраторных двигателей имеют диаметры не более 150 мм, при бо́льших диаметрах возможность детонации возрастает.

Карбюраторные двигатели бывают также газовыми. В газовом двигателе (рис. 49) по соображениям взрывобезопасности газообразное топливо и воздух подводятся по отдельным каналам. Смешиваются они только в самом двигателе в смесителе 2, который расположен вблизи впускного клапана 3. Когда поршень 7 перемещается вниз, смесь заполняет цилиндр. При обратном ходе поршня смесь сжимается, а затем поджигается от свечи. Отработанные газы выходят через клапан 5.

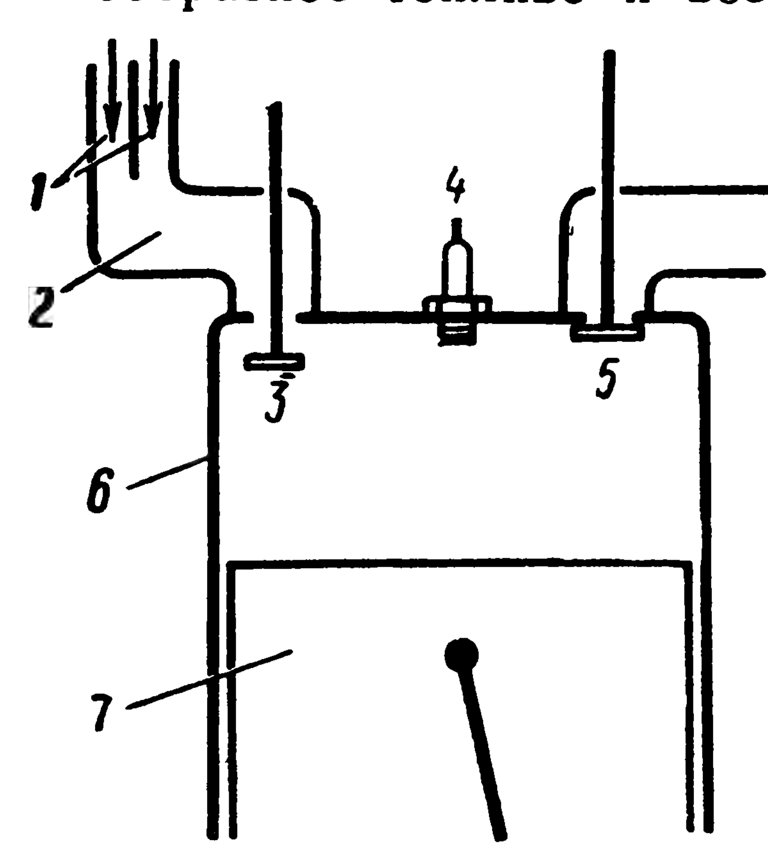


Рис. 49. Устройство газового карбюраторного двигателя:

1 — газоподводящая и воздухоподводящая трубы; 2 — смеситель; 3 — впускной клапан; 4 — свеча; 5 — выпускной клапан; 6 — цилиндр; 7 — поршень.

При объяснении работы газового двигателя можно продемонстрировать взрыв газовой смеси с помощью цилиндра (Д. Э., т. 1, опыт 167), присоединенного к высоковольтному индуктору.

[1] Эта формула дается в ознакомительном плане.

Серьезным недостатком четырехтактных двигателей является неравномерность их хода. В стационарных двигателях неравномерность хода значительно уменьшается при использовании маховика. Однако этот метод неприменим для транспортных двигателей, так как маховик увеличивает габариты и массу двигателя и, кроме того, применение маховика значительно ухудшает способность двигателя изменять число оборотов. Для транспортных двигателей выход заключается в использовании нескольких цилиндров, в которых последовательность рабочих процессов согласована. Для удобства конструкции группы цилиндров часто располагают под углом друг к другу.

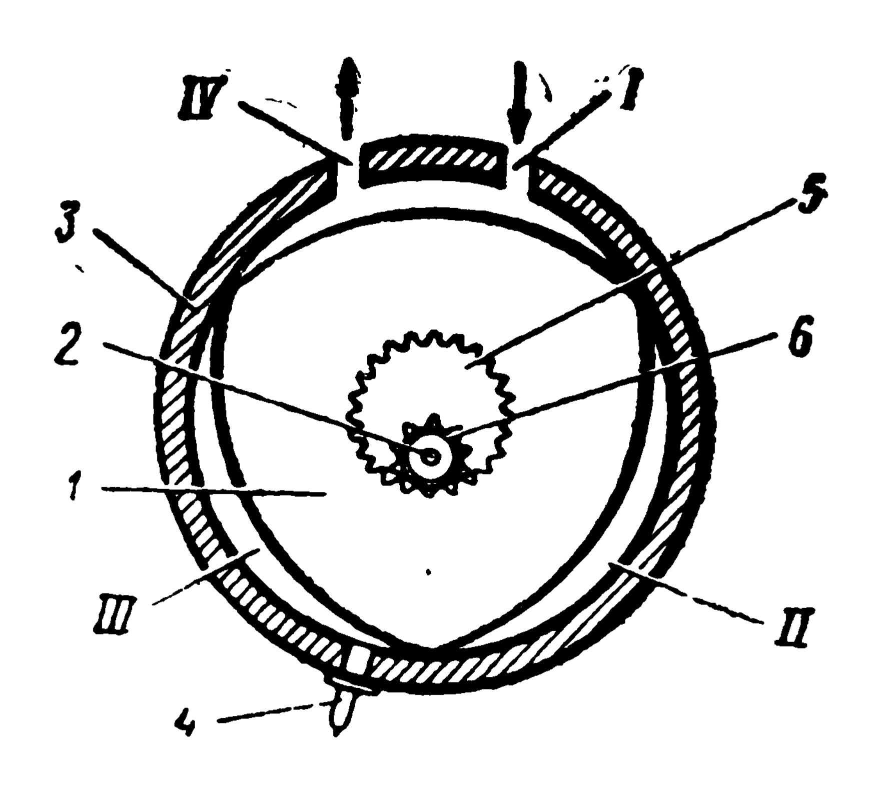


Рис. 50. Устройство двигателя Ванкеля:

1 — ротор; *2* — вал; *3* — корпус; *4* — свеча зажигания; *5* — зубчатое колесо; *6* — шестерня. *I* — впуск; *II* — сжатие; *III* — рабочий ход; *IV* — выпуск.

При работе цилиндры двигателя сильно нагреваются. Охлаждение двигателя может быть воздушным (цилиндры обдуваются встречным потоком воздуха или воздухом от специального вентилятора). Однако воздушное охлаждение применяется лишь для маломощных двигателей (например, мотоциклетных), так как эффективность его не очень велика. Для более мощных двигателей применяют жидкостное охлаждение водой или специальной жидкостью, замерзающей при низкой температуре. В этом случае стенки цилиндров делают двойными (так называемая рубашка охлаждения) и пространство между стенками заполняют охлаждающей жидкостью.

Учащихся нужно ознакомить с техническими характеристиками какого-либо двигателя, например двигателя грузовика ЗИЛ-130[1].

Тип двигателя	Четырехтактный, карбюраторный, верхнеклапанный, с водяным охлаждением
Расположение цилиндров	V-образное, под углом 90°
Диаметр цилиндра, мм	100
Ход поршия, мм	95
Степень сжатия	6,5
Максимальная мощность, кВт . . .	110
Удельный расход топлива	240 г/кВт·ч

Роторно-поршневой двигатель. Конструкция роторно-поршневого двигателя (рис. 50) разработана немецким инженером

[1] Подробные данные о легковых и грузовых автомобилях, тракторах, комбайнах и тепловозах см. в книге: Енохович А. С. Справочник по физике и технике. М., «Просвещение», 1976 (таблицы 136, 137, 139, 140, 141).

Ванкелем в 1957 г. Его особенность состоит в применении вращающегося ротора — поршня, имеющего форму треугольника со сторонами, описанными дугами. Ротор размещен внутри цилиндра, имеющего специальную форму — эпитрохоиду. Ротор установлен на валу и жестко соединен с зубчатым колесом, которое входит в зацепление с неподвижной шестерней, при этом ротор обкатывается вокруг шестерни. Достоинством такой конструкции является отсутствие специального механизма газораспределения. Таким образом, все 4 такта происходят в объеме цилиндра одновременно.

Роторно-поршневой двигатель имеет меньшие габариты, размеры и массу, чем соответствующий ему по мощности четырехтактный двигатель обычной схемы. Отсутствие клапанных и кривошипно-шатунных механизмов приводит к резкому снижению шума, производимого этим двигателем при работе, что также можно считать определенным преимуществом. Однако из-за больших динамических нагрузок срок службы уплотнений ротора недостаточен и меньше срока службы поршневых колец обычной конструкции. Эти уплотнения приходится часто менять, что неудобно в эксплуатации.

Дизельный двигатель. Дизелем называют двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия. В дизеле на процесс смесеобразования отводится ничтожно малое время, поэтому при подаче в цилиндр топливо превращается в мельчайшую пыль и перемешивается с воздухом путем чисто механического распыления топлива. Этот двигатель назван по имени Р. Дизеля, построившего его в 1897 г.

Учащихся следует ознакомить со схемой однокамерного двигателя (рис. 51). Распределительный вал *4* приводит в движение насос *3*, который сжимает топливо до весьма высоких давлений. Сжатое топливо поднимает иглу форсунки *2*, впрыскивается в цилиндр *1*, разбиваясь на мелкие капельки, и перемешивается с рабочим воздухом цилиндра.

Рис. 51. Устройство однокамерного дизельного двигателя:

1 — цилиндр; *2* — форсунка; *3* — насос; *4* — распределительный вал с эксцентриком.

Дизели работают на топливах, которые дешевле бензина. Наиболее широко применяются соляровое масло (в быстроходных дизелях) и смесь мазута с соляровыми фракциями (в тихоходных дизелях). Определенным преимуществом дизелей является и высокая экономичность: удельный расход топлива у дизелей меньше, чем у карбюраторных двигателей, КПД дизелей около 44%. Вал у дизелей может вращаться с частотой от 100 до 3000 об/мин. Рост ча-

стоты вращения ограничивается временем, необходимым для смесеобразования и сгорания топлива.

Дизельные двигатели нашли самое широкое применение в тракторах, автомобилях, тепловозах, они используются на танках, ракетных установках, применяются в передвижных и стационарных дизель-электростанциях. В строительстве используются дизель-трамбовки и дизельные молоты для забивки свай.

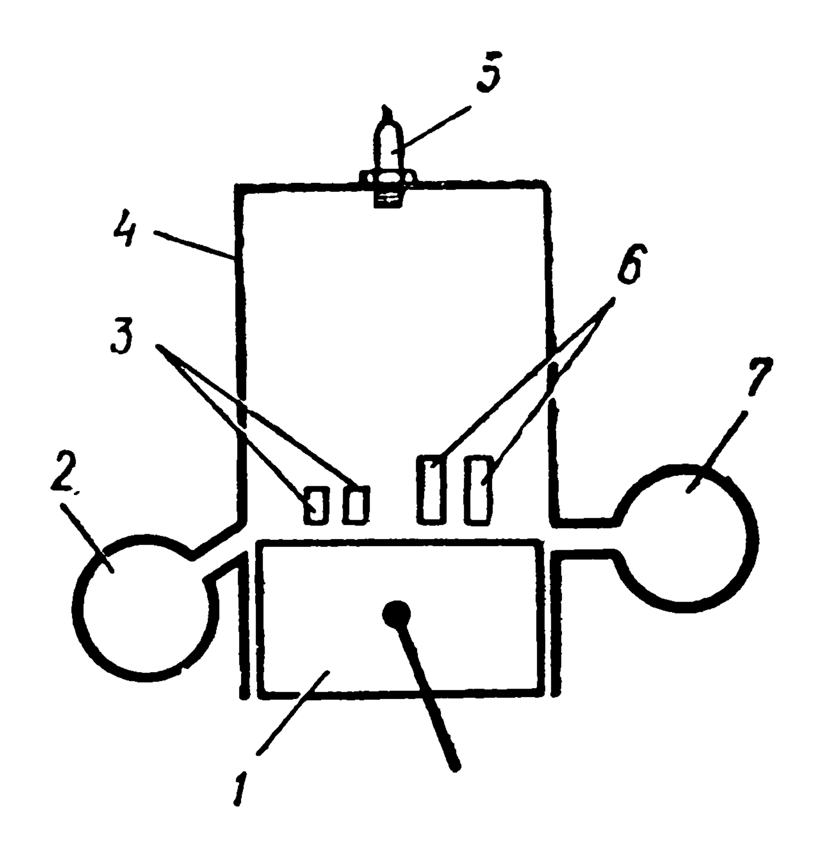


Рис. 52. Схема двухтактного двигателя:

1 — поршень; 2 — продувочная камера; 3 — продувочные окна; 4 — цилиндр; 5 — свеча зажигания (или форсунка); 6 — выпускные окна; 7 — выхлопной коллектор.

Двухтактный двигатель. При анализе работы четырехтактного двигателя внутреннего сгорания следует обратить внимание учащихся на то, что из четырех тактов только один — рабочий. Из трех остальных тактов лишь один необходим для работы двигателя (сжатие). Такты впуска и выпуска являются вспомогательными.

В двухтактном двигателе рабочий процесс осуществляется не за четыре, а за два хода поршня. В этом двигателе процессы впуска и выпуска занимают лишь часть двух основных тактов сжатия и рабочего хода, присущих любому тепловому двигателю.

Одним из наиболее распространенных двухтактных двигателей является двигатель с поперечной продувкой, схематически показанный на рисунке 52.

Двухтактный двигатель работает так: в конце такта сжатия в камеру сгорания впрыскивается топливо, которое воспламеняется и сгорает. При зажигании горючей смеси давление повышается и начинается следующий такт — рабочий ход. В тот момент, когда поршень *1* приближается к нижней мертвой точке, открываются выпускные окна *6* и отработанные газы через выхлопной коллектор *7* выходят в атмосферу. Через продувочные окна *3* в камеру поступает воздух из продувочной камеры *2*. При обратном ходе поршня он закрывает продувочные окна и продувка цилиндра прекращается. Выпускные окна больше продувочных, поэтому они еще остаются открытыми, когда продувочные окна уже закрыты. Процесс сжатия начинается сразу после закрытия выпускных окон.

Полезно отметить, что при равной мощности и одинаковом числе оборотов двухтактный двигатель имеет меньшие габариты и массу, чем четырехтактный, что, конечно, является преимуществом двухтактных двигателей. Однако четырехтактный дви-

гатель дает бо́льшую возможность для увеличения числа оборотов, так как в двухтактном двигателе при большом числе оборотов очистка цилиндра ухудшается и наполнение цилиндра становится недостаточным. Двухтактные двигатели не могут работать на газообразном и жидком топливе, так как при продувке происходят очень большие потери топлива. Все это ограничивает применение двухтактных двигателей.

Двигатели небольшой мощности с внутренним смесеобразованием преимущественно выполняют двухтактными, несмотря на некоторый перерасход топлива. Также делают двухтактными и некоторые карбюраторные и газовые двигатели (мотоциклетные, лодочные моторы), для которых главное — это простота конструкции и малая ее масса, а не экономичность.

В результате ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны знать устройство и принцип действия карбюраторного, газового и дизельного двигателей, их характеристики, преимущества и недостатки.

§ 4. ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Подавляющая часть электроэнергии производится в настоящее время тепловыми электрическими станциями. Важное преимущество тепловых станций по сравнению с гидроэлектростанциями связано с тем, что, кроме электроэнергии, они могут производить тепло. Поэтому тепловые электростанции делятся на два основных типа: конденсационные электростанции (КЭС), производящие только электроэнергию, и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые отдают отработанный нагретый газ для промышленности и бытовых нужд. Такое совместное производство тепловой и электрической энергии очень выгодно экономически. В целом доля ТЭЦ у нас в стране велика: на них производится около 40% электроэнергии, даваемой тепловыми электростанциями.

Принцип работы любой тепловой электростанции достаточно прост: внутренняя энергия топлива в котельной установке преобразуется во внутреннюю энергию пара, затем в механическую энергию вращающейся турбины и лишь в генераторе, соединенном с турбиной, в электрическую энергию.

Учащиеся должны усвоить принцип работы тепловых станций, но предварительно с ними следует разобрать некоторые вопросы термодинамики теплового двигателя.

При превращении внутренней энергии в полезную работу используется не все тепло, а лишь часть его, при этом, если процесс происходит по идеальному циклу Карно, формула для КПД имеет вид:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 и T_2 — максимальная и минимальная абсолютные температуры рабочего тела, участвующего в процессе.

Из формулы для КПД видно, что для повышения экономичности цикла надо стремиться к увеличению разности температур T_1 и T_2.

Температура сгорания топлива может достигать 3000 К, но пока она не может получаться в реальных тепловых машинах, так как еще не созданы материалы, работающие при таких температурах и больших механических нагрузках, определяемых высоким давлением. Таким образом, механические свойства систем определили верхнюю границу температуры пара — 560°С (833 К). Нижняя граница — минимальная температура — определяется температурой конденсации пара и весьма близка к температуре окружающей среды — около 30°С (303 К). Теперь можно найти КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно:

$$\eta = \frac{833-303}{833} \approx 0{,}65.$$

Однако идеальный цикл никогда не реализуется практически, так как всегда есть необратимые потери. Поэтому цикл Карно не может быть реализован ни в одном техническом устройстве.

Учащимся следует сообщить, что реальные тепловые машины работают по циклу, который имеет ряд отличий от цикла Карно. Прежде всего в нем процесс происходит не изотермически, а изобарически, причем тепло сообщается при температуре, меньшей максимальной температуры рабочего тела, а отводится при температуре, выше минимальной. Таким образом, разность температур в реальном цикле меньше разности температур в цикле Карно. Учет, кроме того, потерь цикла позволяет определить, что КПД цикла составляет 40—41%.

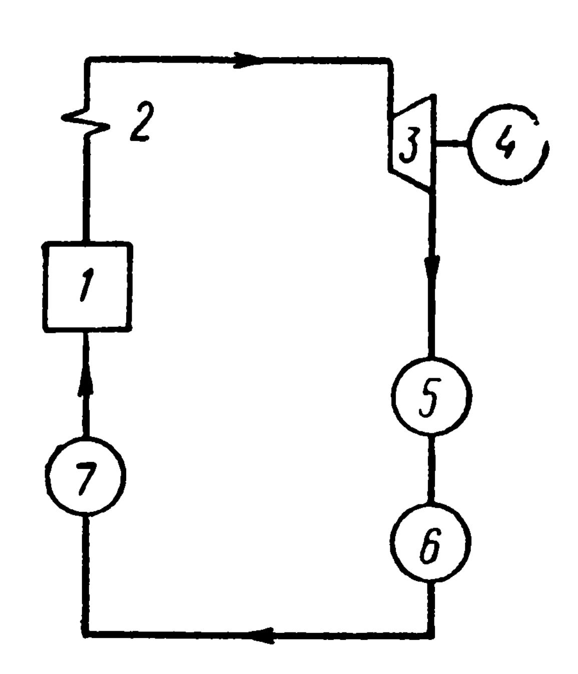


Рис. 53. Блок-схема конденсационной тепловой электростанции:

1 — паровой котел; *2* — пароперегреватель; *3* — паровая турбина; *4* — генератор; *5* — конденсатор; *6* — конденсатный насос; *7* — питательный насос.

Далее следует рассмотреть блок-схему конденсационной тепловой электростанции (рис. 53). Вода из питательного насоса *7* поступает в паровой котел *1*, где образуется пар, который после перегрева в пароперегревателе *2* подается на лопатки паровой турбины *3*. Электрогенератор *4* соединен с турбиной. Пар конденсируется в воду с температурой 30°С в конденсаторе *5* и через конденсатный насос *6* поступает в питательный насос, после чего весь процесс повторяется. Наиболее экономичные конденсационные электростанции могут иметь КПД 40%.

На электростанциях теплофикационного типа достигаются более высокие экономические показатели, так как здесь тепло, отобранное от паровой турбины, используется в бойлерных, где оно передается воде, поступающей в системы теплоснабжения предприятий и жилищ. Все это повышает КПД ТЭЦ до 60—70%. Несмотря на более высокий КПД, электроэнергии на ТЭЦ производится значительно меньше, что является недостатком этого вида станций, поэтому их строительство экономически неоправданно в южных районах, где очень мал отопительный сезон, вместе с тем в зимний период для северных районов теплофикационные электростанции являются самыми экономичными станциями энергосистем. Кроме того, ТЭЦ должна иметь близко расположенных потребителей тепла, а они не всегда есть. Поэтому в целом предпочтение отдается конденсационным электростанциям, которые составляют большую часть строящихся сейчас тепловых электростанций.

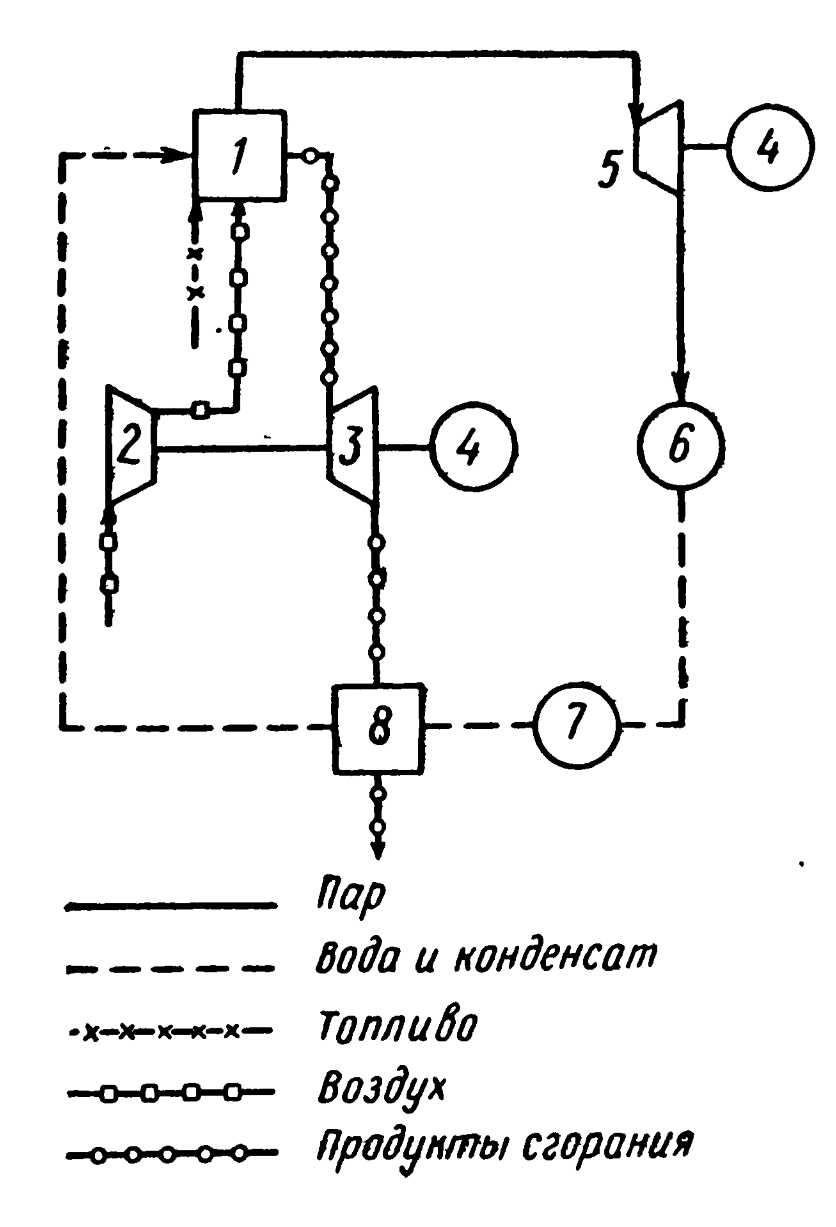


Рис. 54. Блок-схема парогазовой установки:

1 — котлоагрегат; 2 — компрессор; 3 — газовая турбина; 4 — электрогенератор; 5 — паровая турбина; 6 — конденсатор; 7 — насос; 8 — экономайзер.

Объяснение устройства теплоцентрали удобно вести, пользуясь таблицей «Теплоцентраль».

На подавляющем большинстве тепловых электростанций применяются паровые турбины. Однако имеет место и объединение паровых и газовых турбин, при котором получается так называемая парогазовая установка (ПГУ). Принцип действия парогазовой установки (рис. 54) состоит в следующем.

В камеру сгорания котлоагрегата *1* поступает топливо и воздух. Газы, образовавшиеся в камере сгорания, обтекают поверхность парогенератора и после охлаждения до 600—700°С идут в газовую турбину *3*. В паровой турбине *5* происходит парообразование. Таким образом, в ПГУ используются газ и пар — два рабочих тела. Использование двух рабочих тел позволяет поднять КПД парогазовых установок до 44%, что на несколько процентов выше КПД обычных паровых турбин.

Нужно сообщить учащимся, что основные характеристики тепловых электростанций — мощность и КПД — определяются давлением и температурой пара.

Первые тепловые электростанции конца прошлого и начала этого века имели давление пара до $10 \cdot 10^5$ Па и КПД 3—4%. Увеличение давления до $15 \cdot 10^5$ Па, а температуры до 320°С позволило поднять КПД до 10%. Дальнейшее повышение КПД до 16—18% было связано с ростом параметров пара до $30 \cdot 10^5$ Па и 400°С. В настоящее время работают мощные блоки с температурой пара около 540°С и давлением $\approx 250 \cdot 10^5$ Па, их КПД составляет 40%.

Полезно подчеркнуть, что в течение всего развития энергетики важнейшей тенденцией являлось укрупнение отдельных блоков тепловых электростанций, которые очень экономичны — производимая ими электроэнергия наиболее дешева. Связано это в первую очередь с тем, что КПД энергетических установок растет с ростом мощности. Можно привести такие цифры. В СССР в 1960 г. эксплуатировалось 11 блоков мощностью 150 МВт, что в сумме составляло 1,65 ГВт (2,8% всей установленной мощности). В 1970 г. в эксплуатации находилось уже 69 блоков мощностью 200 МВт и 82 блока мощностью 150—160 МВт. В целом установленная мощность всех крупных блоков составила более 50 ГВт.

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» указано, что в десятой пятилетке будет продолжено строительство тепловых электростанций мощностью 4—6 млн. кВт с установкой энергетических блоков единой мощностью 500 и 800 тыс. кВт. Для производства электроэнергии предусмотрено широко использовать дешевые топлива Экибастузского и Канско-Ачинского месторождений. Предполагается к 1980 г. снизить удельный расход топлива до 325—328 г условного топлива на один киловатт-час электроэнергии, что позволит сэкономить миллионы тонн угля и нефти для использования их в других отраслях народного хозяйства.

Усвоение учащимися некоторых вопросов тепловой энергетики позволит им в дальнейшем сравнивать характеристики атомных, тепловых и гидроэлектростанций, определять преимущества и недостатки выработки электроэнергии каждым из этих основных видов электростанций.

После ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны знать, как работают конденсационная и теплофикационная тепловые станции, понимать пути развития теплоэнергетики в СССР.

ЗАДАЧИ

1. Пользуясь формулой для идеального цикла Карно, покажите, что изменение температуры холодильника сильнее сказывается на КПД цикла Карно, чем такое же изменение температуры нагревателя.

2. Определите КПД цикла Карно, если температура нагревателя 180°С, а холодильника — 15°С. Как нужно повысить температуру нагревателя, чтобы КПД увеличился вдвое? (Ответ: 0.36; до 1030°С.)

3. Энергетический блок паровой котел — турбина — генератор мощностью 40 МВт потребляет в 1 ч 15 т угля с теплотой сгорания 25 МДж/кг. Температура перегретого пара перед входом в турбину $t_1=570°C$, в конденсаторе $t_2=30°C$. Определите фактический КПД энергетического блока и сравните его с КПД цикла Карно, осуществленного между температурами t_1 и t_2. (Ответ: $\eta_1=0{,}38$; $\eta_2=0{,}64$.)

ЛИТЕРАТУРА

Нестеров Б. П., Рыдник В. И. Прямые методы преобразования энергии. М., «Знание», 1971.

Соколовский Ю. И. Тепловые машины. — «Квант», 1973, № 10.

Уваров В. Газовая турбина сегодня и завтра. — «Наука и жизнь», 1974, № 3.

Усанов В. В., Глазунов А. Т. Политехническое обучение школьников в преподавании молекулярной физики и элементов термодинамики. — «Физика в школе», 1975, № 5.

ГЛАВА III

ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Все основные направления современного научно-технического прогресса связаны с электронной техникой. Возникшая в начале XX в. электроника сразу же нашла широчайшее применение, послужив основой радиотехники и электронной автоматики. Некоторые вопросы электронной техники довольно органично включены в раздел «Электродинамика», изучаемый в IX классе.

В таблице 6 приведен конкретный технический материал, который может быть рассмотрен на основных занятиях в школе.

Таблица 6

Раздел курса физики	Раздел техники	Конкретные технические вопросы
Электродинамика	Электронная техника	Вакуумный диод и триод Электронно-лучевая трубка Ионные приборы Полупроводниковый диод Термосопротивление

§ 1. УСТРОЙСТВО, ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМНОГО ДИОДА

Диод — это простейшая электронная лампа с двумя электродами: анодом и катодом, помещенными в стеклянный, металлокерамический или металлический баллон.

При объяснении устройства диода может быть полезен диапозитив «Двухэлектродная лампа» и таблица «Диод (вакуумный)».

Характеристики и параметры диода. Основной характеристикой любого диода является вольт-амперная характеристика, показывающая зависимость анодного тока от анодного напряжения. Эту зависимость математически выражают так:

$$I_а = f(U_д) \text{ при } U_н = \text{const}.$$

На графике (рис. 55) показаны вольт-амперные характеристики диода с вольфрамовым катодом (кривая *1*) и оксидированным катодом (кривая *2*), для сравнения здесь приведена теоретическая кривая (*3*). Как видно из графика, теоретическая кривая отличается от реальных.

С помощью имеющегося в школах демонстрационного вакуумного диода можно продемонстрировать зависимость между током и напряжением в анодной цепи и снять вольт-амперную характеристику диода (Ф. Э., т. 2, опыт 46) при различных напряжениях накала.

Главными параметрами, определяющими работу диода, являются крутизна анодной характеристики S, внутреннее сопротивление R_i и мощность потерь P.

Крутизной анодной характеристики называется величина, определяющая, как изменяется анодный ток $\Delta I_а$ при изменении анодного напряжения на 1 В:

$$S = \frac{\Delta I_а}{\Delta U_а}.$$

Так как характеристика диода нелинейна, то крутизна в различных точках будет разной. Как правило, крутизну измеряют на линейном участке.

В качестве примера можно определить крутизну линейного участка характеристики лампы, приведенной на рисунке 56. Для двух выбранных точек наиболее линейной части характеристики напряжения равны 6 и 8 В (т. е. $\Delta U_а = 2$ В), для этих

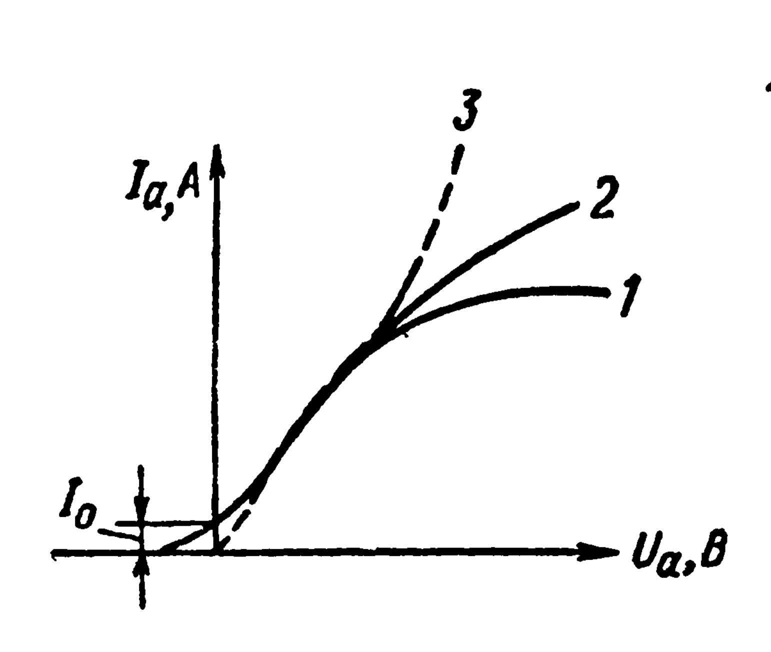


Рис. 55. Вольт-амперная характеристика диода.

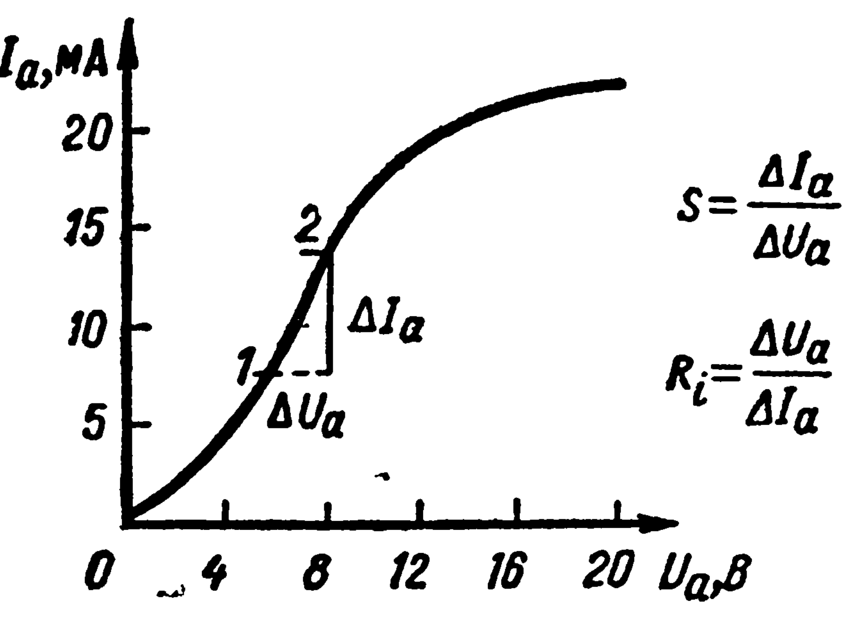


Рис. 56. Определение крутизны вольт-амперной характеристики диода.

же точек $\Delta I_a = 5$ мА, следовательно, для участка *1—2* крутизна равна:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} = 2{,}5 \frac{мА}{В}.$$

Таким образом, для данного участка кривой при изменении анодного напряжения на 1 В анодный ток меняется на 2,5 мА.

Другим параметром диодов является внутреннее сопротивление R_i, которое определяется из соотношения

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

Например, на рассмотренном участке вольт-амперной характеристики (см. рис. 56) внутреннее сопротивление равно:

$$R_i = \frac{1}{S} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = 400 \text{ Ом}.$$

Внутреннее сопротивление, как и крутизна, различны в разных точках вольт-амперной характеристики диода.

Если R_i выражено в омах, а S в миллиамперах на вольт, то между ними существует зависимость, которая часто используется в технике:

$$SR_i = 1000.$$

Еще одним важным параметром диода, определяющим величину тепловых потерь на аноде, является мощность рассеивания P. Эту мощность часто называют мощностью потерь. Она определяется по формуле:

$$P = \bar{N} e U_a = I_a U_a,$$

где e — заряд электрона;

N — число электронов, попадающих на анод за 1 с.

Для того чтобы анод диода (как и любой другой лампы, например, триода) не выходил из строя вследствие перегревания, применяют несколько способов:

1) увеличивают поверхность анода;

2) наносят чернящее покрытие, что повышает излучательную способность анода;

3) делают принудительное воздушное или водяное охлаждение.

Двухэлектродные лампы применяются для выпрямления переменного тока в системах ограничителей, смесителей, в схемах стабилизации выпрямленного напряжения. Выпрямляющее действие диода можно показать при помощи схемы, состоящей из гальванометра, реостата, трансформатора и диода (Д. Э., т. 2, опыт 47). Переменное напряжение снимают с 12-вольтной обмотки универсального трансформатора и через гальванометр подают к вакуумному диоду. В анодной цепи наблюдают посто-

янный ток, так как стрелка гальванометра отклоняется только в одну сторону.

После прохождения этого материала учащиеся должны знать, как устроен диод, какие параметры служат для его характеристики и где он применяется.

§ 2. ВАКУУМНЫЙ ТРИОД

Триодом называется электронная вакуумная лампа, имеющая три электрода: катод, анод и сетку. Сетка в виде спирали располагается между катодом и анодом.

Объяснению устройства триода может помочь диапозитив «Трехэлектродная лампа».

Статические параметры триода. Каждый триод имеет три основные характеристики: крутизну анодно-сеточной характеристики S, статический коэффициент усиления μ и внутреннее сопротивление R_i.

По анодно-сеточной характеристике триода можно рассчитать крутизну S — параметр, показывающий изменение анодного тока при изменении сеточного напряжения на 1 В:

$$S = \frac{\Delta I_а}{\Delta U_с} \text{ при } U_а = \text{const}.$$

Например, для характеристики, показанной на рисунке 57, крутизна равна:

$$S = \frac{\Delta I_а}{\Delta U_с} = \frac{4 \text{ мА}}{2 \text{ В}} = 2 \frac{\text{мА}}{\text{В}}.$$

Это означает, что при изменении сеточного напряжения на 1 В анодный ток изменяется на 2 мА. Найденная крутизна характеризует вполне определенный участок *АБ* характеристики, для других участков будет другое значение крутизны. В данной

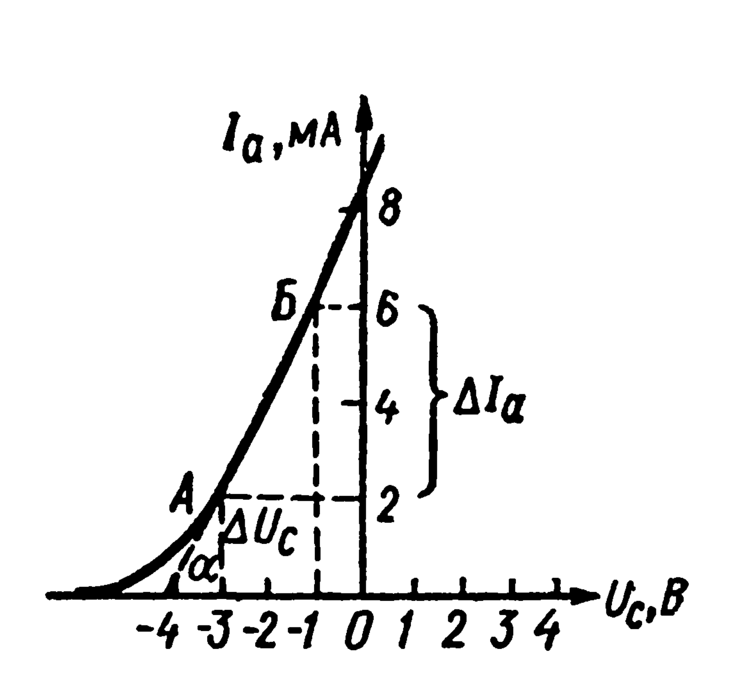


Рис. 57. Определение крутизны анодно-сеточной характеристики.

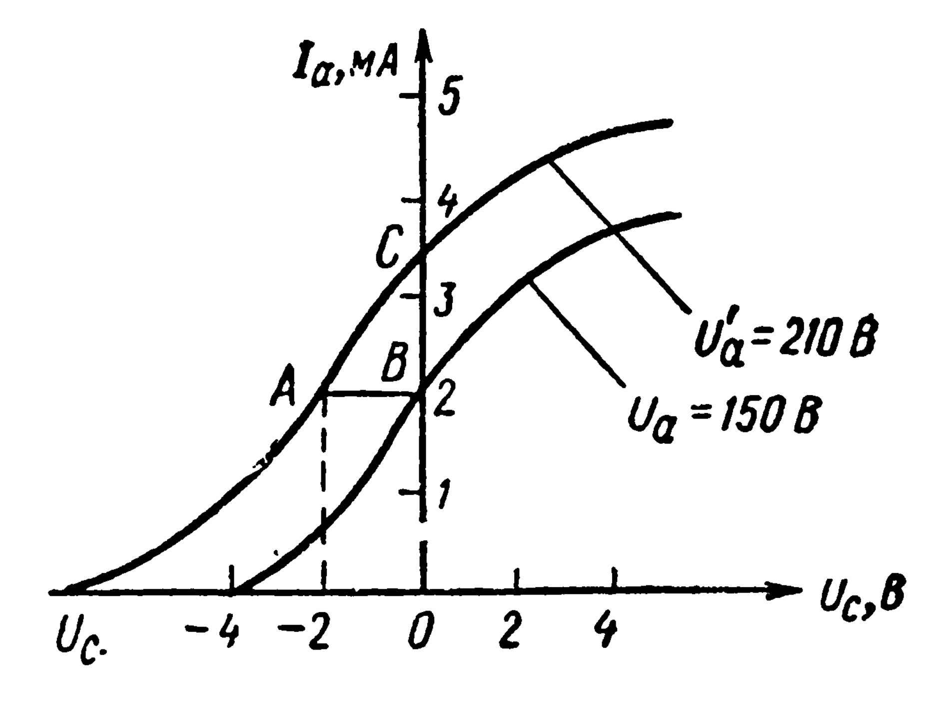


Рис. 58. Определение усиления триода по характеристическому треугольнику.

точке характеристики крутизна может определяться тангенсом угла наклона α касательной, проведенной к данной точке характеристики.

Другим важным параметром триода является статический коэффициент усиления μ. Он показывает, во сколько раз действие сеточного напряжения на увеличение анодного тока сильнее, чем действие анодного напряжения.

Значение этого параметра можно рассмотреть на примере графика, приведенного на рисунке 58. Пусть анодно-сеточная характеристика снята при $U_а=150$ В. При $U_с=0$ ток анода равен 2 мА. Если увеличить анодное напряжение до 210 В, то при $U_с=0$ анодный ток будет равен 3,5 мА. Чтобы вернуться к значению 2 мА по этой характеристике, надо изменить сеточное напряжение от 0 до -2 В. Таким образом, можно сделать вывод, что по действию на анодный ток изменение сеточного напряжения на —2 В эквивалентно изменению анодного напряжения на 60 В. Коэффициент усиления лампы будет равен:

$$\mu=\frac{\Delta U_а}{\Delta U_с}=\frac{60}{2}=30 \text{ при } I_а=\text{const}.$$

Так же как и для диода, внутреннее сопротивление триода представляет собой сопротивление участка анод — катод лампы переменному току малой амплитуды при постоянном напряжении на сетке.

Все рассмотренные параметры триода объединены в одно уравнение, называемое внутренним уравнением лампы:

$$\mu=SR_i.$$

В технике часто пользуются внутренним уравнением для определения одного неизвестного параметра по двум известным.

Например, учащимся можно предложить такую задачу: определить крутизну анодно-сеточной характеристики триода, если внутреннее сопротивление триода $R_i=10$ кОм, а коэффициент усиления $\mu=20$.

Решение этой задачи достаточно просто:

$$S=\frac{\mu}{R_i}=2\frac{\text{мА}}{\text{В}}.$$

Применение триодов. Триод в схеме усилителя. В современной радиотехнике и электронике триоды применяются в схемах, работающих на низких и высоких частотах. Триоды используются для усиления напряжения и для усиления мощности.

При объяснении работы триода в качестве усилителя напряжения следует воспользоваться схемой рисунка 59.

В цепь сетки подается синусоидальный входной сигнал. Выходное напряжение снимается с нагрузочного сопротивления $R_а$.

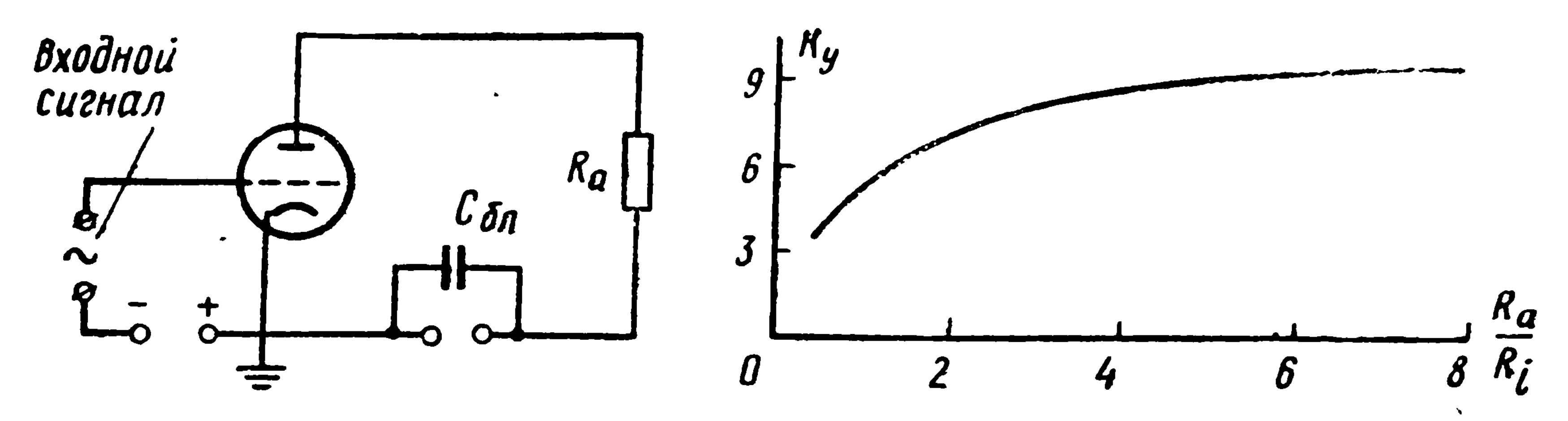


Рис. 59. Схема усилителя напряжения на триоде и зависимость коэффициента усиления от отношения $\frac{R_а}{R_i}$.

При подаче на сетку триода переменного напряжения через лампу (а следовательно, и через нагрузочное сопротивление) потечет пульсирующий ток. Этот ток создает на сопротивлении переменное напряжение, которое, как правило, больше напряжения на сетке. Основная характеристика такого усилителя — коэффициент усиления по напряжению, который показывает, во сколько раз напряжение, снимаемое с сопротивления ($U_{вых}$), больше, чем напряжение, подаваемое на сетку ($U_{вх}$):

$$k_у = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

Полученный выше коэффициент усиления связан со статическим коэффициентом усиления μ соотношением:

$$k_у = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \mu \frac{R_а}{R_а + R_i}.$$

Для работы в режиме усиления

$$\mu \frac{R_а}{R_а + R_i} > 1, \text{ т. е. } R_а > \frac{R_i}{\mu - 1}.$$

Таким образом, чем больше $R_а$, тем больше $k_у$. На уроке можно построить зависимость коэффициента усиления от отношения $\frac{R_а}{R_i}$ для конкретной лампы, имеющей $\mu = 20$ и $R_i = 15$ кОм (рис. 59). Построение показывает, что отношение $\frac{R_а}{R_i} \approx 4—6$ является оптимальным, так как дальнейшее увеличение этого отношения не приводит к серьезному росту коэффициента усиления.

Усилительное действие трехэлектродной лампы можно продемонстрировать, используя триод на подставке (Д. Э., т. 2, опыт 49). Сначала показывают воспроизведение звука от звукоснимателя без включения электронной лампы. Для этого пьезоэлектрический звукосниматель присоединяют через трансформатор к электродинамическому громкоговорителю. Обра-

щают внимание учащихся на то, что в этом случае громкоговоритель звучит довольно тихо.

Затем собирают схему, включающую проигрыватель, трансформатор, громкоговоритель и электронную лампу. При включении всей схемы громкоговоритель звучит значительно громче, чем до включения триода в схему, что подтверждает его усиливающее действие.

После изложения всего этого материала на уроке учащиеся получают знания об устройстве триода, его характеристиках и некоторых применениях.

§ 3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБОК

Электронно-лучевая трубка — это электронный прибор, преобразующий электрические сигналы в изображение при помощи электронного луча.

К электронно-лучевым приборам относятся электронно-лучевые трубки для приема телевизионных изображений (кинескопы), индикаторные устройства радиолокаторов, трубки для осциллографов, запоминающие трубки для электронно-счетных машин и т. д.

Фокусировка электронных лучей осуществляется электростатическим и магнитным полем. В зависимости от этого различают трубки с электростатической и магнитной фокусировкой.

При объяснении устройства электронно-лучевой трубки можно использовать таблицу «Электронно-лучевая трубка».

Электронно-лучевая трубка с электростатической фокусировкой выполнена в виде цилиндрического баллона с конусообразным расширением (рис. 60). Внутренняя поверхность конусной части представляет собой экран *ЛЭ*, покрытый слоем люминофора — вещества, светящегося под действием электронов. Внутри трубки расположены электроды, имеющие разное назначение.

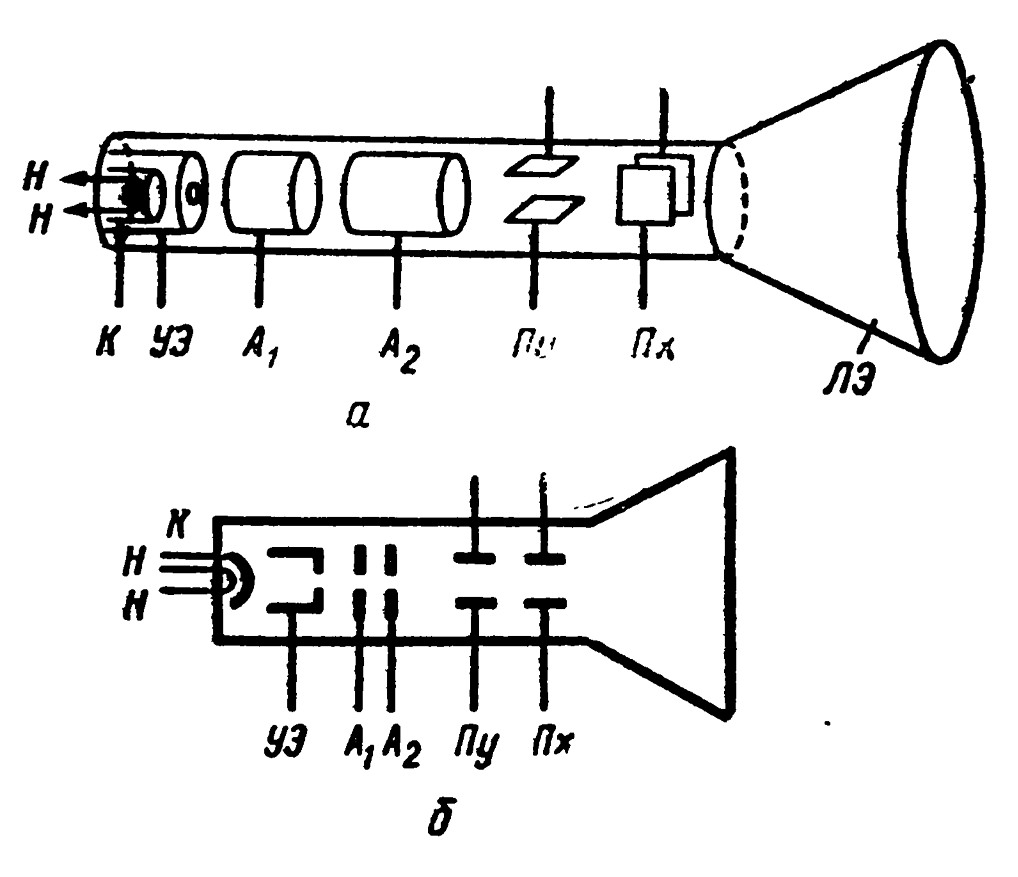


Рис. 60. Принцип устройства (*а*) и схематическое изображение (*б*) электронно-лучевой трубки с электростатической фокусировкой.

У большинства трубок катод *К* делается оксидированным, косвенного накала, в виде цилиндра, внутри которого находится подогреватель (*НН*). Вокруг катода располагается управляющий элек-

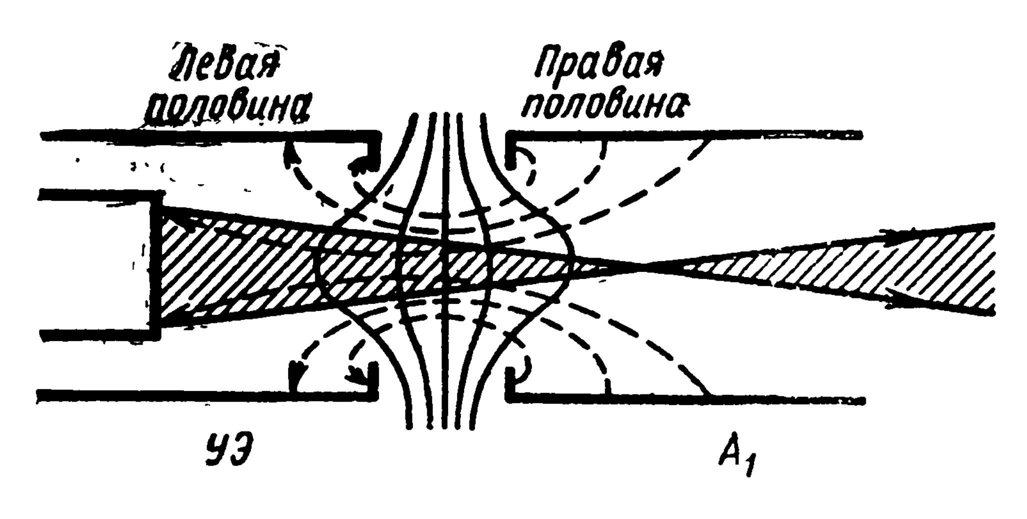


Рис. 61. Первая линза электронного прожектора (заштрихована траектория движения электронов).

трод УЭ, при помоши которого изменяется плотность электронного пучка. На управляющий электрод подается отрицательное напряжение порядка нескольких десятков вольт.

Далее следуют цилиндрические аноды A_1 и A_2. Главным из них является анод A_2: на него подается положительный потенциал от 500 В до 20 кВ (в различных трубках).

Учащиеся должны понять, что система управляющий электрод — первый анод образует электронную линзу. На рисунке 61 показана картина поля, где эквипотенциальные поверхности изображены сплошными линиями, а силовые линии поля — штриховыми. Поле в левой половине линзы осуществляет фокусировку потока электронов и увеличивает их скорость. В правой половине линзы поле дополнительно ускоряет электроны и несколько рассеивает их. Однако рассеивающее действие слабее фокусирующего, поэтому электроны после прохождения правой половины линзы фокусируются.

Здесь можно привести аналогию с действием системы двух линз — собирающей и рассеивающей. Если собирающая линза сильнее рассеивающей, то вся система обладает фокусирующим действием.

Аноды A_1 и A_2 образуют вторую фокусирующую систему (электронную линзу) (рис. 62). В левую половину линзы попадает расходящийся пучок электронов, который фокусируется, в правой же части происходит рассеивание потока. В этой линзе рассеивающее действие слабее фокусирующего, и поэтому в целом эта линза является фокусирующей с довольно большим фокусным расстоянием. Длиннофокусная линза необходима для того, чтобы сфокусировать электронный пучок на далеко помещенном экране.

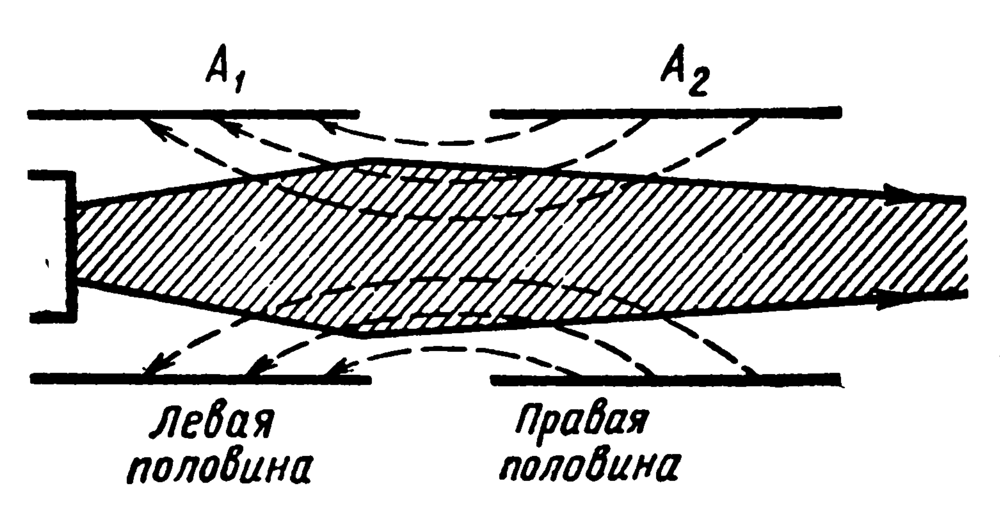


Рис. 62. Вторая фокусирующая линза (заштрихована траектория движения электронов).

Эта система также имеет оптический аналог в виде собирающей и рассеивающей линз, которые дают эффект фокусировки.

После того как в электронно-лучевой трубке сформирован довольно узкий электронный пучок, он проходит между двумя парами отклоняющих

пластин: горизонтально расположенными пластинами вертикального отклонения (*Пу* на рис. 60) и пластинами горизонтального отклонения, расположенными вертикально (*Пх*).

Отклонение электронного пучка при подаче положительного напряжения на пластины вертикального и горизонтального отклонения можно показать, используя электронно-лучевую трубку с электростатическим управлением (Д. Э., т. 2, опыт 51).

Электронный луч попадает на экран, покрытый люминофором. Основной характеристикой люминофоров является световая отдача, определяемая силой света, даваемой люминофором на 1 Вт мощности электронного пучка. Люминесценция затухает за время послесвечения. Для люминофоров различают очень короткое послесвечение ($<10^{-5}$ с), короткое (от 10^{-5} до 10^{-2} с), среднее (от 10^{-2} до 10^{-1} с), длительное (от 10^{-1} до 16 с) и очень длительное (>16 с).

Электронные трубки с магнитной фокусировкой (рис. 63) по сравнению с трубками с электростатической фокусировкой отличаются простотой конструкции, определяемой тем, что фокусирующие и отклоняющие магнитные системы вынесены вне трубки. Не рассматривая подробно конструкции трубок с магнитной фокусировкой, следует разобрать, как происходит фокусировка электронного потока магнитным полем.

Магнитную фокусировку электронного луча в трубке выполняет неоднородное магнитное поле, создаваемое магнитной линзой (рис. 64). Если в левую половину магнитной линзы входит расходящийся из точки *1* поток электронов, то траектория их движения искривляется, так как индукция поля катушки возрастает. Радиус кривизны траектории уменьшается, в точках *А* и *В* магнитной линзы он минимален. Затем индукция убывает и искривление траекторий уменьшается. В результате пучок электронов сходится в точке *2*, лежащей на оси магнитной

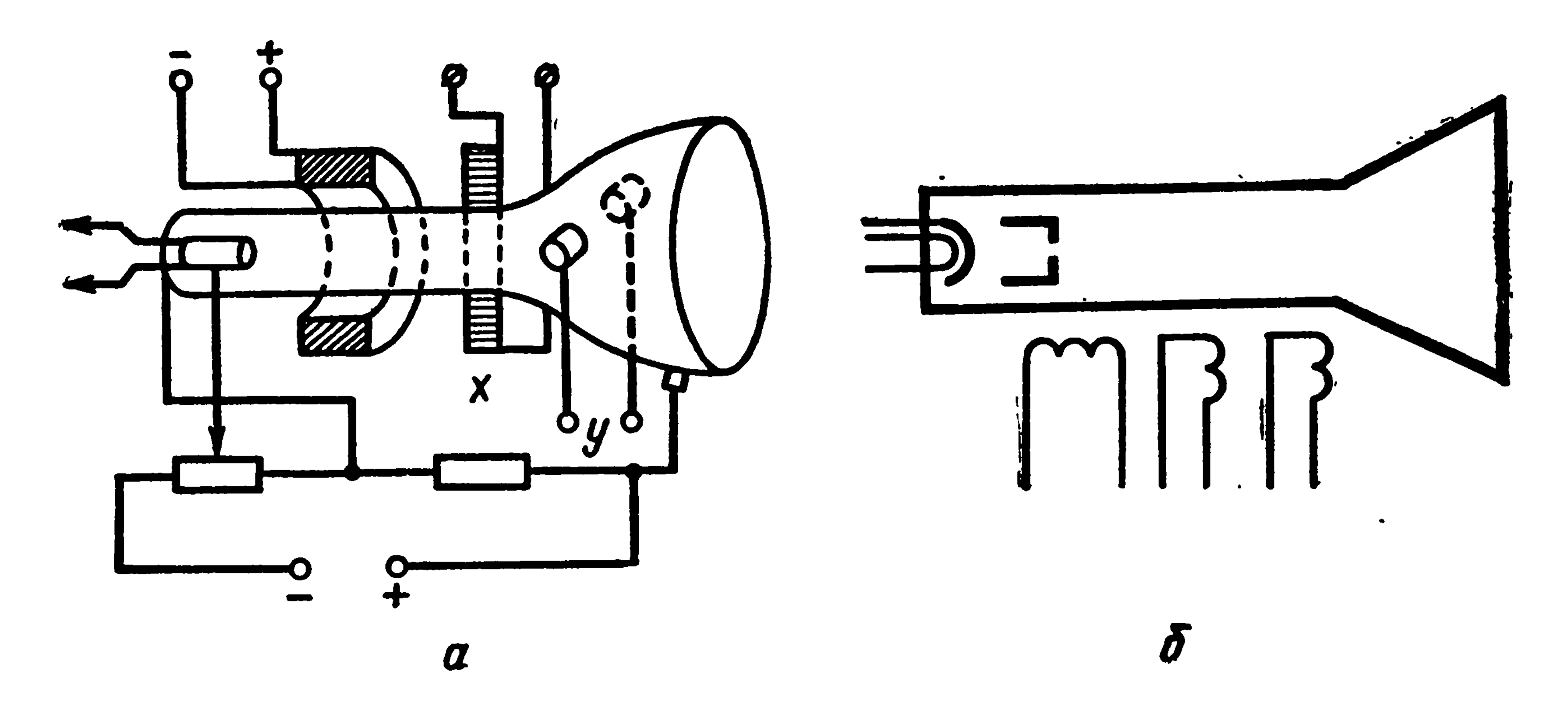


Рис. 63. Принцип устройства (*а*) и схематическое изображение (*б*) электронно-лучевой трубки с электромагнитной фокусировкой.

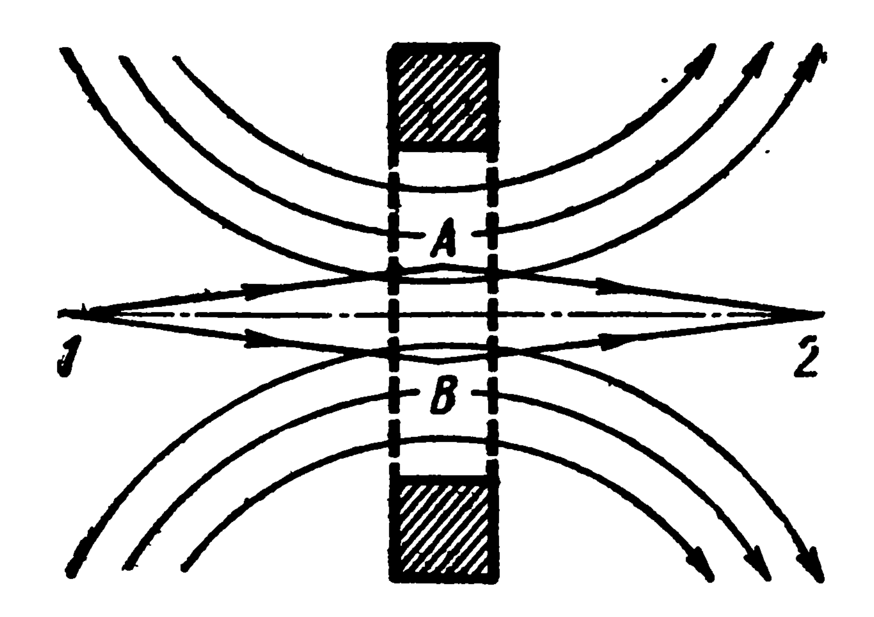


Рис. 64. Магнитная фокусировка потока электронов.

линзы. Для усиления фокусирующего действия катушку помещают в кожух из мягкой стали, при этом индукция поля в центре значительно увеличивается.

Для отклонения сфокусированного луча применяются две пары катушек: катушки X-отклонения (расположены вертикально) и катушки $У$-отклонения (расположены горизонтально).

Магнитную фокусировку электронного пучка в электронно-лучевой трубке можно продемонстрировать, используя отклоняющие катушки *1* и *2* (Д. Э., т. 2, опыт 52). Через рубильник и реостат к катушкам подключают аккумулятор и наблюдают отклонение светящегося пятна на экране. Изменение тока в катушке вызывает перемещение пятна по экрану.

В результате изучения этого материала учащиеся получают знания об устройстве и работе электронно-лучевой трубки.

§ 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА. ИОННЫЕ ПРИБОРЫ

Во многих электронных схемах применяются ионные приборы, основой работы которых служит использование электрического разряда в газах. Учащимся следует сообщить, что в ионных приборах используются три основных типа газовых разрядов: тихий, тлеющий и дуговой. По характеру разряда ионные приборы делятся на приборы с холодным катодом (самостоятельный разряд) и накаленным катодом (несамостоятельный разряд).

Основными процессами, происходящими в ионных приборах, являются процессы ионизации и рекомбинации. Это процессы достаточно инерционные, что ограничивает частотную характеристику ионных приборов величиной около 10 кГц.

Газотрон. Газотроном называется двухэлектродная ионная лампа с накаленным катодом, работающая в режиме дугового несамостоятельного разряда. Вольт-амперная характеристика газотрона приведена на рисунке 65.

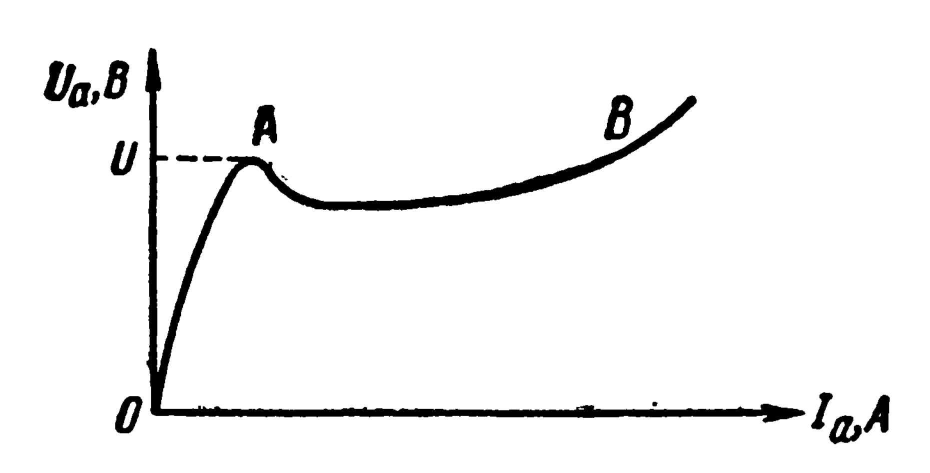


Рис. 65. Вольт-амперная характеристика газотрона.

Катоды газотрона могут быть как прямого накала,

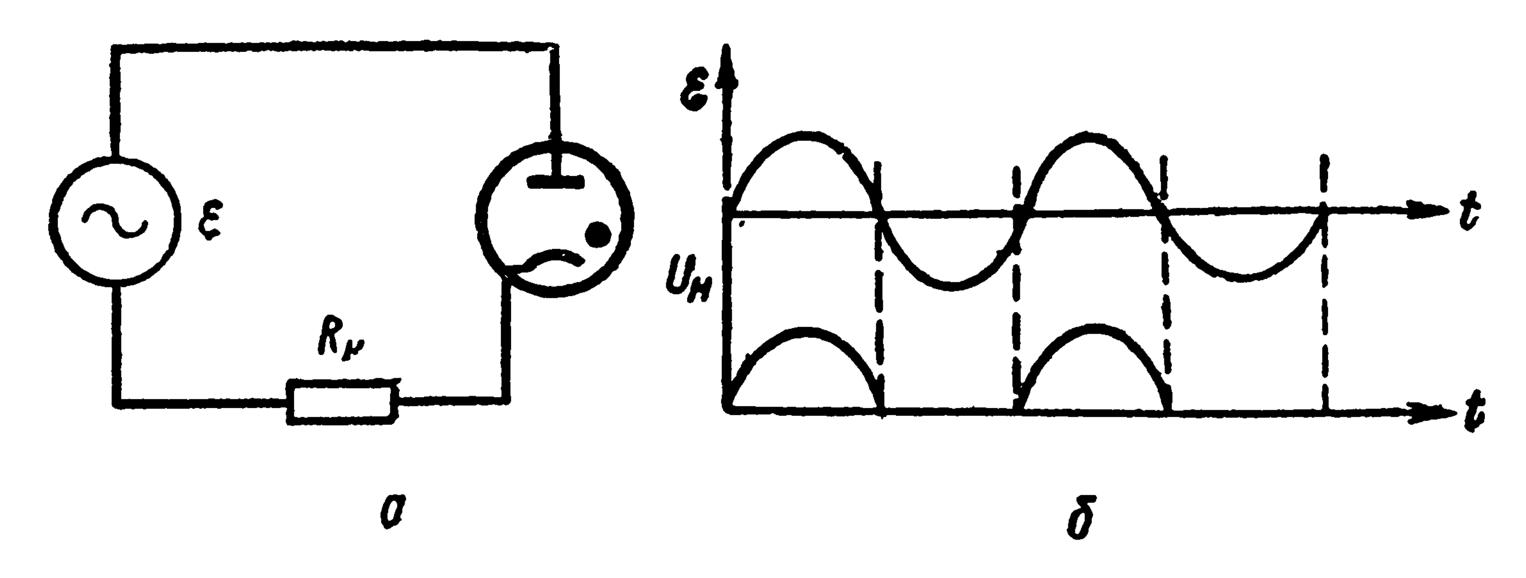


Рис. 66. Схема выпрямителя на газотроне (*а*), ЭДС, вырабатываемая генератором ($\mathcal{E}$), и напряжение на нагрузке ($U_н$) (*б*).

так и подогревные. Подогревные катоды, как правило, применяются в мощных лампах. Катод обычно делают оксидированным. Анод выполняется из никеля или графита. Напряжение накала не должно превышать 5 В, так как при бо́льших напряжениях между концами нити накала может возникнуть дуговой разряд.

Наполняются газотроны парами ртути до давления 1 Па ($\approx 10^{-2}$ мм рт. ст.) или инертными газами до давления $0{,}5 \cdot 10^2$ Па ($\approx 0{,}5$ мм рт. ст.).

Разбор вольт-амперной характеристики газотрона не только важен сам по себе, но он также помогает повторить некоторые свойства газового разряда. На приведенной вольт-амперной характеристике газотрона (см. рис. 65) точка *А* соответствует зажиганию дуги, т. е. зажиганию газотрона, далее напряжение падает, а ток растет, пока не достигнет максимального значения. Участок *ОАВ* характеристики называется участком зажигания газотрона.

Газотроны применяются для выпрямления переменного тока большой величины. Так как в рабочем режиме падение напряжения на участке анод—катод газотрона невелико (≈ 10 В), а ток большой, то внутреннее сопротивление газотрона, а следовательно, потери мощности на газотроне незначительны. Поэтому КПД выпрямителей на газотроне достигает 0,99.

Схема выпрямителя на газотроне показана на рисунке 66, *а*. При увеличении напряжения происходит зажигание газотрона, затем напряжение падает до значения, соответствующего напряжению горения дугового разряда. После того как напряжение делается меньше этой величины, дуга гаснет. В результате в анодной цепи протекает выпрямленный ток (рис. 66, *б*).

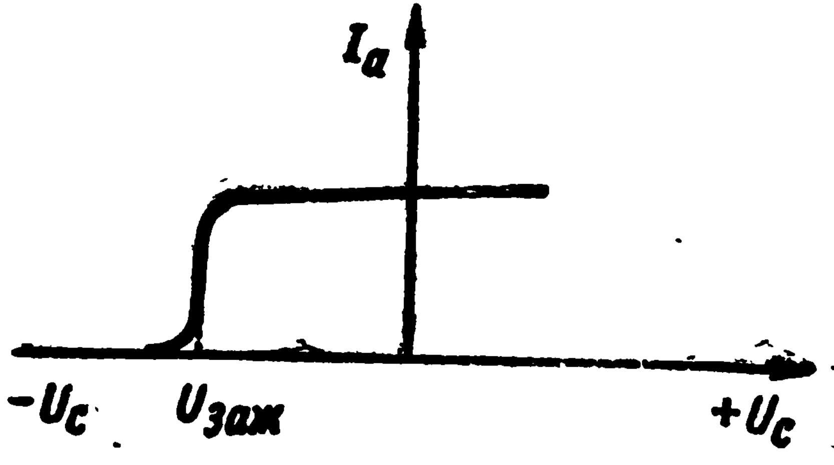


Рис. 67. Зависимость тока в тиратроне от напряжения на сетке.

Тиратрон. Тиратроном называется лампа с газовым на-

полнением, содержащая, кроме анода и катода, одну или несколько сеток. Тиратроны бывают двух типов: с холодным и накаленным катодом. Учащихся следует ознакомить с работой только трехэлектродной газонаполненной лампы, при этом нужно обратить их внимание на роль сетки.

Сетка в тиратроне не управляет анодным током, а лишь зажигает газовый разряд в лампе. В тиратроне могут быть только два режима работы:

1) лампа закрыта при высоком отрицательном напряжении на сетке;

2) лампа открыта при небольшом отрицательном потенциале на сетке, при этом увеличение потенциала на сетке не влияет на анодный ток.

Вольт-амперная характеристика тиратрона показана на рисунке 67. Из нее видно, что при некотором потенциале зажигания в тиратроне начинается дуговой разряд.

Сетка в тиратроне выполняется в виде диска с одним или несколькими отверстиями. Такая конструкция сетки обеспечивает полную экранировку катода от поля анода. При другой конструкции электроны могли бы двигаться к аноду, минуя сетку, т. е. сетка не регулировала бы начало разряда в лампе.

Изучение этой темы полезно закончить просмотром кинофильма «Ионные приборы».

После ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны знать устройство тиратрона и газотрона и их применение.

§ 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАЗМЫ. МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

За последние полтора десятилетия получил довольно широкое развитие принципиально новый метод преобразования энергии — магнитогидродинамический. Генераторы электрической энергии, использующие этот метод, называют МГД-генераторами. Разработка вопросов теории плазмы и создание специальных жаропрочных материалов позволили создать первые исследовательские и промышленные установки с МГД-генераторами.

Принципиальная схема МГД-генератора показана на рисунке 68. Воздух, поступающий из атмосферы *11*, сжимается в компрессоре *12* и через воздухоподогреватель *7* подается в камеру сгорания. Туда же поступает топливо *1* и присадки *2*. При сжигании топлива образуется плазма с температурой 2500—2800°С, которая попадает в газопроводный канал *4* генератора, находящийся в сильном магнитном поле, создаваемом электромагнитом *3*. В плазме, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС; постоянное напряжение снимается с электродов *5*. Для преобразования постоянного тока в переменный используется инвертор *6*. Газы, выходящие из канала МГД-генератора, нагре-

вают воздух до температуры около 2000°С, а сами остывают до 1000°С. Для повышения эффективности установки за воздухоподогревателем обычно устанавливают пароподогреватель *9*, пар из которого поступает в паровую турбину *13*, находящуюся на одном валу с воздушным компрессором *12*. Затем охлажденный пар поступает в конденсатор *14*, после чего вода, образующаяся в конденсаторе, подается с помощью насоса *15* обратно в парогенератор. Отработанные газы уходят из МГД-генератора через сопло *10*.

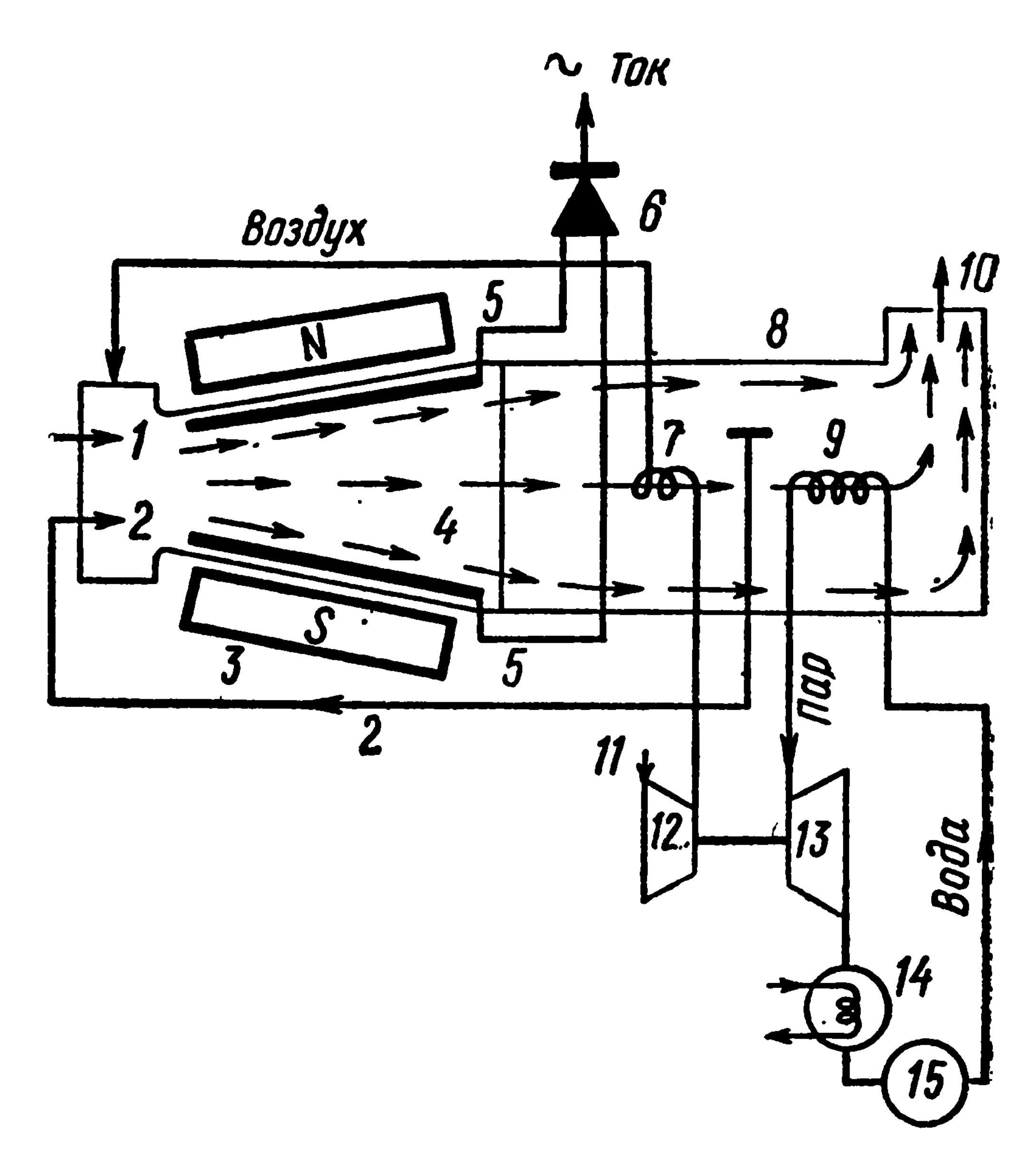


Рис. 68. Схема МГД-генератора:

1 — топливо; *2* — присадки; *3* — электромагнит; *4* — газопроводный канал; *5* — электроды; *6* — инвертор; *7* — воздухоподогреватель; *8* — канал для выхода газов; *9* — пароперегреватель; *10* — сопло; *11* — воздух; *12* — компрессор; *13* — паровая турбина; *14* — конденсатор; *15* — насос.

Созданные промышленные образцы МГД-генераторов имеют КПД 50—60% и применяются для производства энергии в часы ее наибольшего потребления. В перспективе ожидается создание МГД-генераторов мощностью в несколько сот тысяч киловатт.

Многие технические применения плазмы показаны в кинофильме «Плазма — четвертое состояние вещества», который полезно показать учащимся.

Изучив этот материал, учащиеся должны знать устройство и принцип работы МГД-генератора.

§ 6. ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Зависимость электрических свойств полупроводников от температуры используется в полупроводниковых приборах, называемых термосопротивлениями (или термисторами). Существует два типа термосопротивлений: у одних с ростом температуры сопротивление падает, у других — растет. Наиболее распространены термосопротивления с падающей температурной зависимостью, поэтому на анализе их работы следует остановиться.

При увеличении температуры полупроводника количество свободных электронов в нем увеличивается, при этом его сопро-

тивление уменьшается, причем эта зависимость очень резкая. Из приведенного на рисунке 69 графика можно определить, что при увеличении температуры полупроводника от 0 до 100°C сопротивление его упало в 100 раз (от 10^4 до 10^2 Ом).

Основными характеристиками термосопротивлений являются:

1) холодное сопротивление R_{20} (сопротивление термистора при 20°C);

2) температурный коэффициент сопротивления α, который определяет процентное изменение сопротивления полупроводника при изменении температуры на 1°C, отнесенное к величине холодного сопротивления:

$$\alpha = \frac{R_{30}-R_{20}}{R_{20}} 100\%.$$

Для большинства сопротивлений $\alpha<0$.

Вольт-амперная характеристика термосопротивления (рис. 70) представляет собой кривую с быстрым первоначальным ростом и медленным последующим спадом. Так как с ростом температуры сопротивление падает, то при том же токе в случае большей температуры на сопротивлении будет меньшее напряжение. Обычно термосопротивления работают в области падающего участка вольт-амперной характеристики.

Термосопротивления с отрицательной температурной зависимостью делают из твердых полукристаллических полупроводников с высоким температурным коэффициентом α: из смеси оксида титана TiO_2 с оксидом магния MgO, из оксидов Mn, Cu, Co, Ni и т. д. Также для их производства применяют полупроводниковые синтетические голубые алмазы.

Если поместить термосопротивление в плечо уравновешенного моста, в одну диагональ которого включен амперметр, а в другую источник ЭДС, то при изменении температуры окружающей среды мост разбалансируется, и если амперметр проградуировать, то по показаниям амперметра можно определить

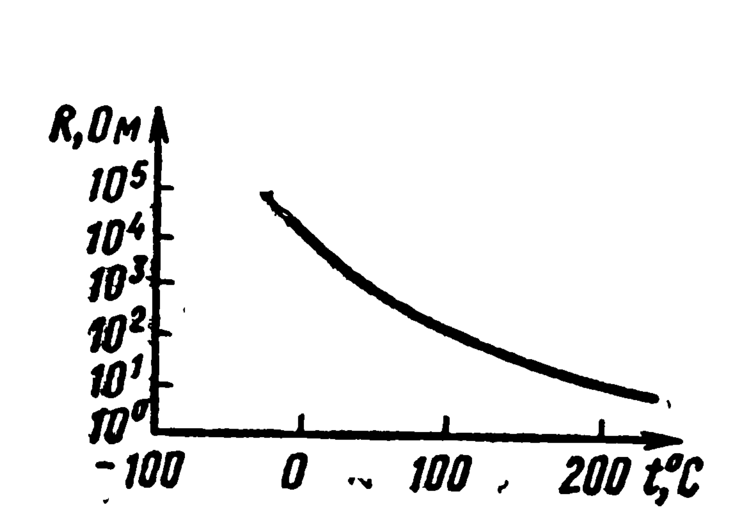


Рис. 69. Зависимость сопротивления термистора от температуры.

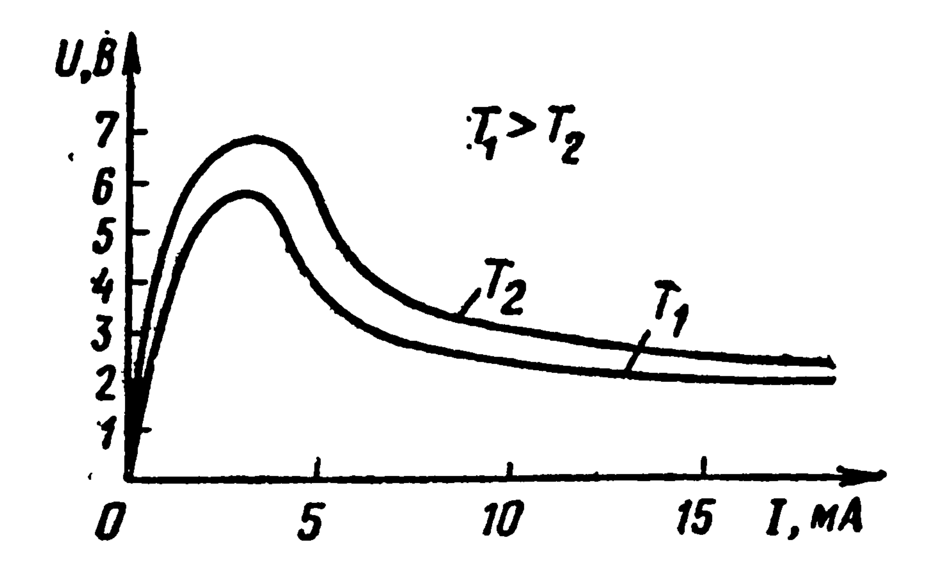


Рис. 70. Вольт-амперные характеристики термосопротивлений для двух различных температур.

изменение температуры. Это является одним из наиболее распространенных применений термосопротивлений.

Рассмотрев этот материал, учащиеся должны знать основные характеристики термосопротивлений.

§ 7. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

В курсе физики IX класса учащиеся изучают свойства полупроводников и электрический ток в них. Этих знаний достаточно для разбора устройства и характеристик полупроводникового диода.

По конструктивным признакам диоды подразделяются на точечные и плоскостные (рис. 71, *а*, *б*). Основой диодов обоих типов является обычно кристалл *1* германия с электронной проводимостью (*n*-типа). У точечного диода имеется игла *2*, под острием которой при технологической обработке диода образуется слой *4* германия с дырочной проводимостью (*p*-типа), который вместе с кристаллом германия *n*-типа образует электронно-дырочный переход. При точечной конструкции диода рабочая поверхность очень мала.

При изготовлении плоскостного диода расплавленная капля индия *3* при контакте с германием *n*-типа образует слой германия *p*-типа. На довольно большой площади создается электронно-дырочный переход, что позволяет пропускать через плоскостные диоды токи, в несколько раз большие токов точечных диодов. Рабочие режимы полупроводниковых диодов определяются их вольт-амперными характеристиками.

На рисунке 72 показаны вольт-амперные характеристики кремниевого и германиевого диодов, из которых видно, что при возрастании положительного напряжения ток резко увеличивается (этот ток называют прямым током диода), при малых отрицательных напряжениях через диод протекает небольшой обратный ток. При больших отрицательных напряжениях характеристика диода резко падает из-за начинающегося лавинного пробоя.

Кроме вольт-амперной характеристики, диод определяется:

величиной прямого тока при напряжении $U=+1$В, равной 1—10 мА у точечных диодов и 0,1—10 А — у плоскостных;

величиной обратного тока, равной 1—10 мкА для точечных диодов и 0,01—1 мА для плоскостных;

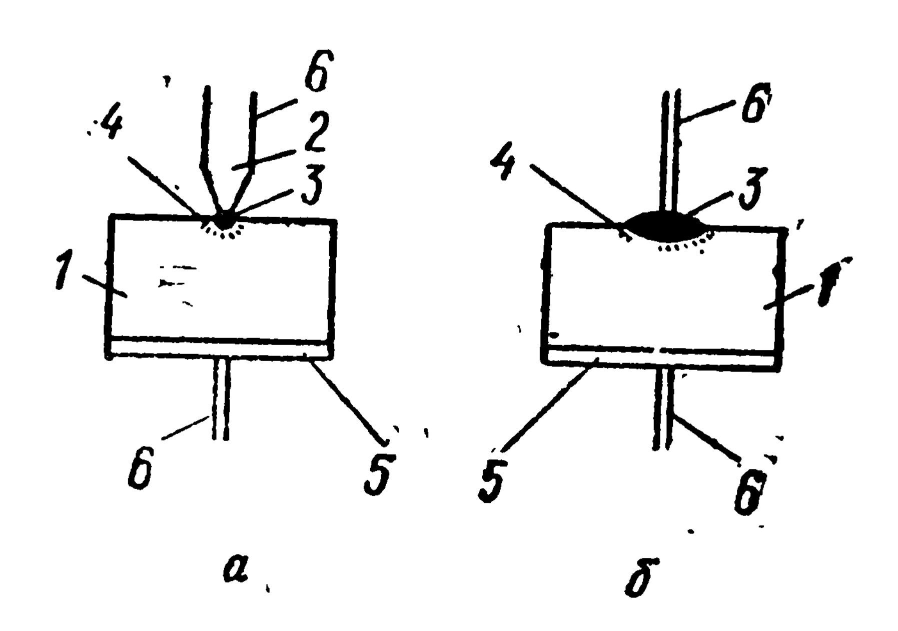


Рис. 71. Устройство точечного (*а*) и плоскостного (*б*) полупроводниковых диодов:

1 — кристалл; *2* — игла; *3* — индий; *4* — слой *p—n*-перехода.

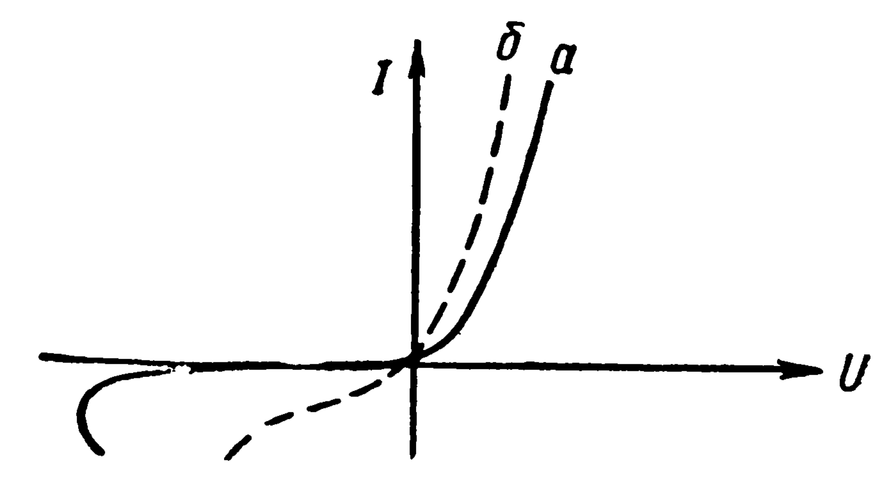


Рис. 72. Вольт-амперные характеристики кремниевого (*а*) и германиевого (*б*) диодов.

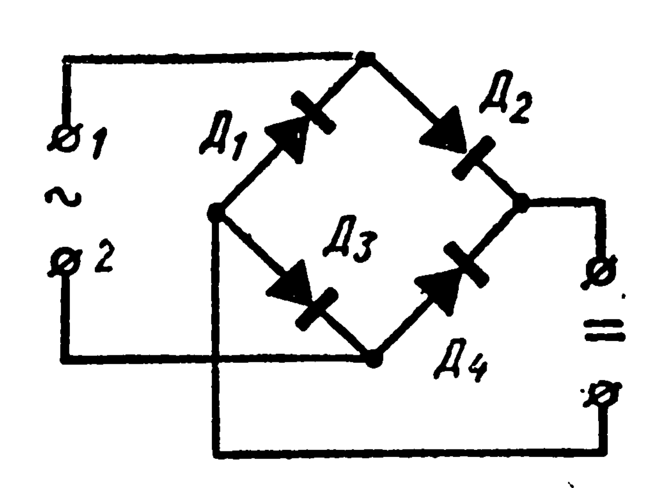


Рис. 73. Схема мостикового выпрямителя на полупроводниковых диодах.

сопротивлением диода R_g в прямом направлении (R_g=0,1—100 Ом);

сопротивлением диода в обратном направлении (≈10—100 кОм);

обратным пробивным напряжением (≈10—100 В).

Все эти характеристики позволяют использовать полупроводниковые диоды для детектирования радиосигналов и выпрямления переменного тока. На рисунке 73 показана схема двухполупериодного выпрямителя на диодах, который выполнен по мостиковой схеме. На вход схемы подается переменное напряжение. Ток в нагрузку течет через диоды $Д_2$ и $Д_3$, когда положительный потенциал на выходном зажиме *1*, и через диоды $Д_1$ и $Д_2$, когда положительный потенциал на зажиме *2*. В оба полупериода ток в нагрузке течет в одном и том же направлении.

Изменение сопротивления полупроводника при нагревании и охлаждении можно показать с помощью термистора ММТ-4. Термистор укрепляют на подставке и включают в электрическую цепь последовательно с демонстрационным гальванометром, батареей аккумуляторов и выключателем. Термистор нагревают на пламени горелки, при этом наблюдают рост тока гальванометра.

Далее следует показать изменение сопротивления полупроводников при освещении (Д. Э., т. 2, опыт 59). Фоторезистор закрепляют и, приближая электрическую лампу к нему, наблюдают увеличение тока. Учащиеся должны сделать вывод о том, что с ростом освещенности полупроводника его сопротивление уменьшается.

Зависимость сопротивления электронно-дырочного перехода диода Д7Ж от полярности приложенного напряжения можно показать так: сначала собирают демонстрационный омметр, после включения диода в цепь омметра демонстрируют прямой и обратный токи диода (Д. Э., т. 2, опыт 63). Далее следует показать учащимся, как работают однополупериодный и двухполупериодный выпрямители, использующие полупроводниковые диоды (Д. Э., т. 2, опыт 64).

Изучение темы желательно закончить просмотром кинофильма «Полупроводники и их применение в технике» или диафильма «Полупроводники и их применение», в которых показаны многие технические применения полупроводников.

В результате ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны знать, каковы характеристики полупроводникового диода и где он применяется.

§ 8. ФЕРРИТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

За последние 25 лет широкое распространение в технике получили новые ферромагнитные материалы — ферриты. Они представляют собой химические соединения типа $MeO \cdot Fe_2O_3$, где Me — двухвалентный металл (магний, марганец, никель, цинк, кадмий и др.).

По своим электрическим характеристикам ферриты являются полупроводниками, их удельное электрическое сопротивление меняется в довольно широких пределах (от 10 до 10^{-8} Ом·м). Исключение составляет лишь магнетит-феррит железа Fe_3O_4, у которого удельное сопротивление равно 10 Ом·м. Высокое сопротивление ферритов обеспечивает малые потери на вихревые токи в переменных магнитных полях. Диэлектрическая проницаемость ферритов меняется в пределах от единицы до миллиона.

Применение ферритов обусловлено их основными свойствами: высокими магнитными характеристиками и надежностью в работе.

В радиоэлектронике ферриты применяются в качестве магнитных антенн, в схемах разверток телевизионных приемников, в высокочастотных дросселях; они могут служить сердечниками катушек индуктивности входных и промежуточных контуров.

Самое широкое применение ферриты нашли в системах автоматики и телемеханики. Серьезным недостатком электромеханических элементов вследствие наличия в них подвижных частей является их износ. Ферритовые элементы, не содержащие подвижных частей, имеют лишь сердечник, выполненный из мягкомагнитных материалов, и обмотку. Отсутствие износа и старения ферритов — очень важное преимущество для систем автоматики.

На рисунке 74 показана типичная зависимость магнитной проницаемости μ ферромагнетика от индукции B магнитного поля. Максимальное значение магнитной проницаемости $\mu_{макс}$ может в десятки раз превышать начальное значение проницаемости. Например, для листового молибденового пермаллоя

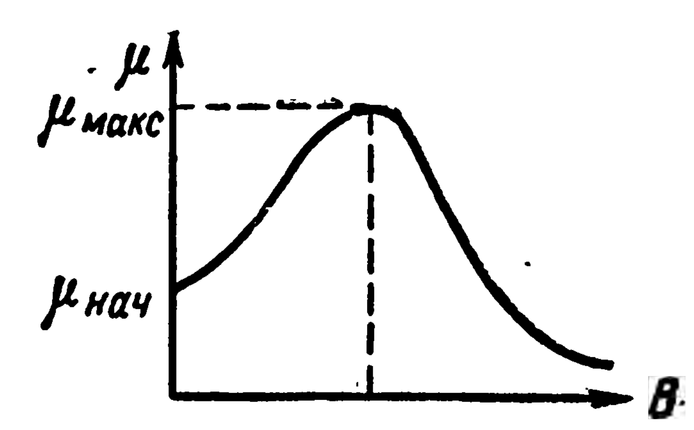


Рис. 74. Зависимость магнитной проницаемости ферромагнетика от индукции магнитного поля.

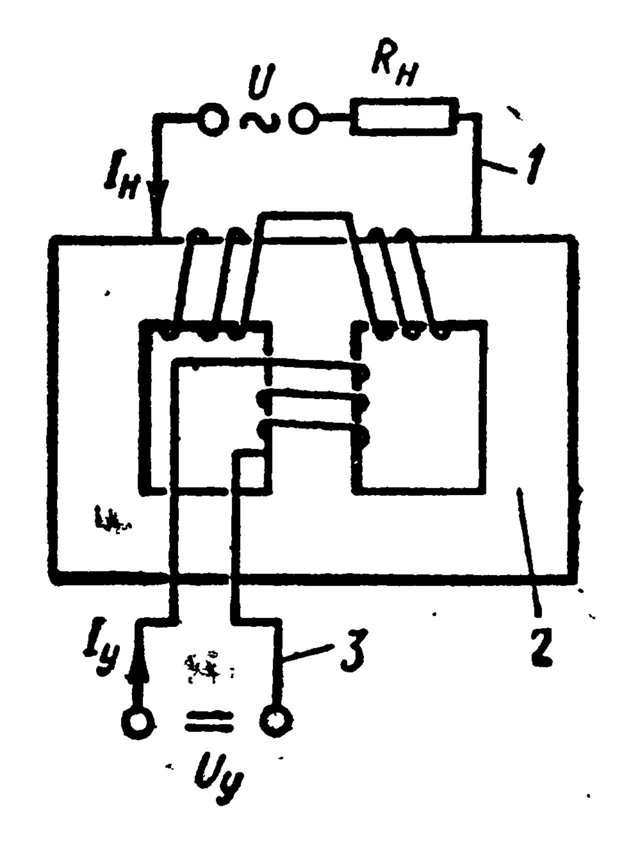


Рис. 75. Схема магнитного усилителя мощности:

1 — нагрузочная обмотка; *2* — ферритовый сердечник; *3* — управляющая обмотка.

(78% никеля) при токе частотой 500 Гц и кольцевой форме сердечника толщиной 0,2—0,5 мм $\mu_{нач}=8000$, а $\mu_{макс}=30\,000$.

Это физическое свойство ферритов используется в дроссельном магнитном усилителе мощности (рис. 75), состоящем из ферромагнитного сердечника и двух обмоток: управляющей — постоянного тока и нагрузочной — переменного тока. В такой схеме усиливается мощность: изменение мощности переменного тока в сопротивлении нагрузки $R_н$ оказывается значительно больше мощности постоянного тока в обмотке подмагничивания.

После изучения материала, изложенного в этом параграфе, учащиеся должны получить представление о ферритах и некоторых их применениях.

ЛИТЕРАТУРА

Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы. М., Атомиздат, 1969.
Батушев В. А. Электронные приборы. М., «Высшая школа», 1969.
Бернштейн А. С. Как работает кинескоп? М., «Энергия», 1973.
Хазен А. М. Современная электроника. М., «Просвещение», 1970.
Шамаш С. Я. Политехническое обучение в преподавании электродинамики. — «Физика в школе», 1975, № 6.

ГЛАВА IV

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ И ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Содержание раздела «Колебания и волны», изучаемого в курсе физики X класса, позволяет, пожалуй, с наибольшей полнотой реализовать основные идеи политехнического обучения и прежде всего, изучить ряд конкретных технических вопросов (см. табл. 7).

Таблица 7

Раздел курса	Раздел техники	Конкретный технический материал
Колебания и волны	Ультразвуковая техника	Механические колебания и их роль в технике; технические применения ультразвука
	Техника СВЧ	Применение токов ВЧ в технике и медицине
	Энергетика	Генераторы постоянного и переменного тока; двигатели переменного и постоянного тока; трансформаторы; производство электроэнергии; линии электропередач; успехи и перспективы электрификации СССР; использование электроэнергии
	Радиотехника и телевидение	Радиоприемник; радиопередатчик; радиолокация; телевидение; развитие средств связи в СССР

§ 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ИХ РОЛЬ В ТЕХНИКЕ

При изучении колебаний физического маятника следует предложить учащимся для решения ряд конкретных задач, связанных с колебаниями реальных технических устройств. Например, такую задачу: определить период вертикальных колебаний (качки) корабля, если даны его масса m и площадь сечения корабля по ватерлинии S.

При решении этой задачи следует разобрать два случая:

1. Судно находится в покое. В этом случае на него действует сила тяжести $\vec{F}$ и архимедова сила $\vec{F_1}$ (рис. 76).

2. Судно выведено из положения равновесия и приобретает вертикальные гармонические колебания. Теперь архимедова сила равна F_2; она увеличилась на $S\rho y$ (где ρ — плотность воды, y — вертикальное смещение относительно точки приложения силы $\vec{F_1}$).

Колебания судна протекают аналогично колебаниям пружинного маятника, при этом y можно рассматривать как смещение, а $S\rho$ аналогично коэффициенту жесткости k.

С учетом принятых допущений можно записать формулу для периода T свободных вертикальных колебаний корабля:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{S\rho}},$$

где T — период, с; m — масса судна, т.

Отсюда учащиеся могут сделать вывод, что период качки корабля обратно пропорционален площади его ватерлинии и прямо пропорционален массе корабля.

Знакомя учащихся с вынужденными колебаниями и резонансом, нужно объяснить, что при работе многих технических установок возникают опасные вынужденные колебания (опор паровых турбин, мостов, самолетов, двигателей внутреннего сгорания). Следует подчеркнуть, что при определенных условиях даже небольшая периодическая сила может быть гораздо более разрушительной для конструкции, чем много бо́льшая постоянная. Наиболее сильно это проявляется при частотах вынужденных колебаний, близких к собственной частоте конструкции. Например, движущийся вагон наиболее сильно раскачивается, если частота его колебаний на стыках рельсов совпадает с собственной частотой колебаний. Можно предложить учащимся решить следующую задачу: длина рельса — 15 м, собственная частота колебаний вагона — 0,5 с. Определите скорости движения поезда, при которых наступает явление резонанса.

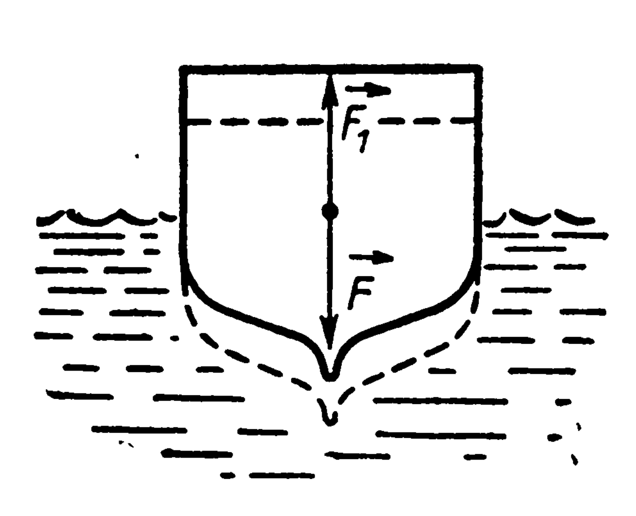


Рис. 76. Силы, действующие на корпус корабля.

Решение этой задачи несложное, и с ним учителя знакомы.

Резонансную скорость находят так:

$$\frac{15\ \text{м}}{0{,}5\ \text{с}}=30\ \text{м/с}=108\ \text{км/ч}.$$

Но резонансными скоростями являются также и кратные скорости: 54, 36, 12 км/ч и т. д.

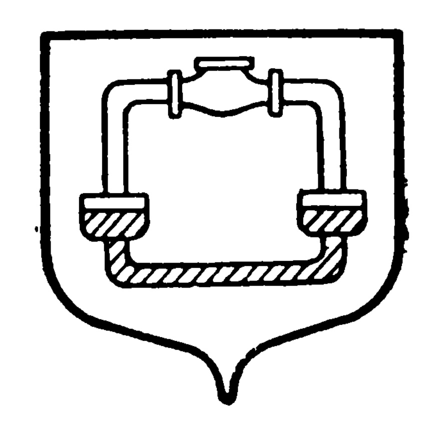


Рис. 77. Система успокоителя качки.

Вредные проявления колебаний. Во многих технических устройствах вынужденные колебания отдельных частей конструкции оказываются исключительно вредными. Например, колебания лопаток и дисков паровых и газовых турбин могут привести к поломке лопатки или диска. Причем одна сломанная лопатка практически мгновенно выводит из строя бóльшую часть лопаток всей турбины.

Другим достаточно вредным проявлением колебаний является хорошо известная качка кораблей. Чем ближе частота колебаний волн к собственной частоте колебаний корабля, тем согласно теории резонанса судно больше подвержено качке.

Довольно значительное уменьшение качки дает использование специальных устройств (успокоителей качки), представляющих собой два резервуара (рис. 77), наполовину наполненных водой и соединенных между собой водяным трубопроводом внизу и воздушным трубопроводом с вентилем вверху. При возникновении качки вращающий момент силы тяжести воды в баках противоположен вращающему моменту от действия волн. Применение успокоителя качки позволяет уменьшить угол наклона корабля с 15 до 5°.

Довольно широко применяются также гироскопические успокоители, позволяющие более значительно уменьшить качку (с 20 до 1°). В этой конструкции маховик гироскопа связан с корпусом корабля и препятствует его повороту.

Еще одним интересным примером вынужденных колебаний являются колебания типа флаттер, возникающие под действием аэродинамических сил. Особенно опасны эти колебания для самолетов, так как при флаттере амплитуда колебаний возрастает и, как говорят, «система идет вразнос». После того как самолеты стали иметь довольно большую скорость, некоторые из них при испытаниях буквально разваливались в воздухе из-за флаттера. Для устранения этого явления при проектировании самолетов обеспечивают конструкции такую критическую скорость, которая выше критической скорости самолета.

Явление резонанса несколько раз самым трагическим образом проявлялось в мостостроении. В качестве примера можно привести одно из наиболее известных за последние десятиле-

тия — крушение моста через пролив Такома (США), причиной которого явились крутильные, горизонтально-боковые, а также вертикальные колебания моста, которые были вызваны совпадением частот вынужденных колебаний, вызванных сильным ветром, с частотой собственных вертикальных колебаний конструкции. Для борьбы с резонансом конструкторам приходится учитывать много факторов, в частности то, что при длине пролета моста порядка 100 м частота основного тона колебаний 1—2 Гц.

Использование колебаний в технике. Технические применения колебаний весьма разнообразны. Очень широко, в частности, их используют в строительной технике, где уже несколько десятилетий применяется укладка бетона методом вибрирования. В случае применения наружных вибраторов их прикрепляют к опалубке, через которую передаются колебания бетонной массе. При использовании внутренних вибраторов их медленно погружают в бетонную массу, где они находятся несколько десятков секунд, а затем извлекают оттуда. Как правило, частота колебаний вибраторов составляет 50—100 Гц. При использовании виброметода повышается плотность бетона, что делает его весьма стойким против проникновения вредных примесей.

Полезно также объяснить учащимся, что для улучшения свойств многих технологических материалов весьма важно вибрационное измельчение материала. Например, увеличение удельной поверхности цемента позволяет более чем в 2 раза увеличить его предел прочности.

В металлургии вибрирование расплавленного чугуна позволяет удалить вредные газы и шлаки. В этом случае ковш с расплавленным чугуном помещают на специальную виброплатформу, приводимую в колебательное движение с помощью вибраторов. Более легкие примеси, шлаки, а также пузырьки газов при вибрации ускоренно выделяются, что позволяет получить чугун весьма высокого качества.

Рассмотрев материал, изложенный в этом параграфе, учащиеся ознакомятся с различными проявлениями колебаний в технических устройствах.

§ 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

При изучении звуковых и ультразвуковых волн учащихся следует ознакомить с различными техническими применениями ультразвука, так как ультразвуковые методы в настоящее время все более широко применяются в промышленности.

Сначала нужно показать, как работает излучатель ультразвука — пьезокерамическая пластинка (Д. Э., т. 1, опыт 91), и объяснить, что основные типы ультразвуковых устройств прямо связаны с двумя главными свойствами ультразвуковых колебаний: их высокой направленностью и большой энергией, поэтому

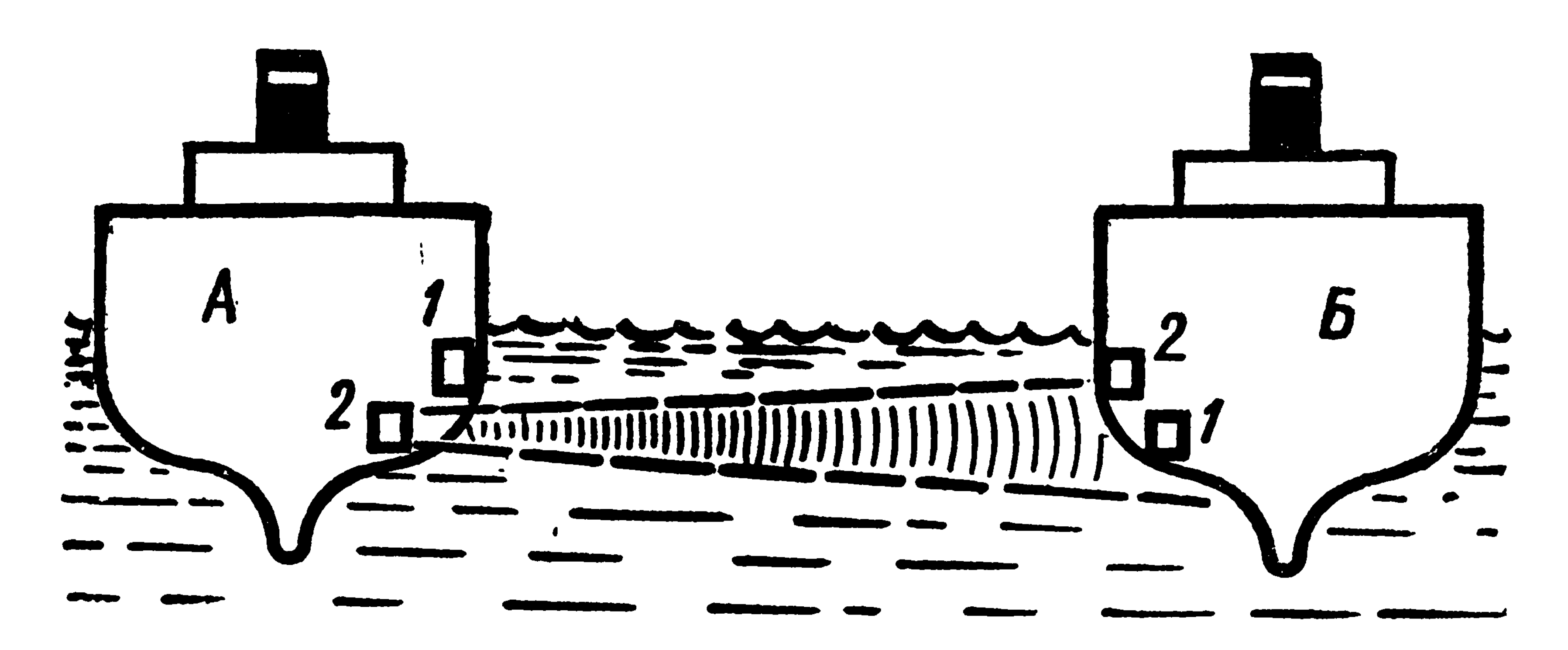


Рис. 78. Схема подводной ультразвуковой связи кораблей:
1 — приемники излучения; *2* — источники ультразвуковых колебаний.

все ультразвуковые приборы подразделяются на два класса — приборы, использующие преимущества направленности ультразвукового излучения, и приборы, использующие его высокую энергию. Затем следует рассмотреть важнейшие применения первого класса приборов.

Как известно, из-за дифракции угол расходимости волны прямо пропорционален длине волны ($\theta \sim \lambda$). Полезно обратить внимание учащихся на то, что угол расходимости звуковой волны с частотой 5 кГц будет при прочих равных условиях в 20 раз больше угла расходимости ультразвукового колебания частотой 100 кГц. В приборах, использующих направленность ультразвукового излучения, высокий уровень энергии нежелателен, а зачастую и недопустим, так как мощное направленное излучение может вызвать нежелательную деформацию объекта.

Ультразвуковые навигационные и локационные приборы. Ультразвуковые приборы для целей навигации и локации по своим качествам сравнимы с другими классами этих приборов (световыми, электромагнитными), но имеют ряд преимуществ, связанных с тем, что без вынесенных наружу антенн только волны звуковой и ультразвуковой частоты могут распространяться под водой.

В качестве первого примера таких приборов можно рассмотреть, как осуществляется ультразвуковая подводная связь двух кораблей (рис. 78): звуковые волны, которые необходимо послать с корабля *А* на корабль *Б*, преобразуются в электрические сигналы, а затем подаются на источник ультразвуковых волн. Пройдя через воду до судна *Б*, они принимаются на нем приемником ультразвуковых волн, демодулируются и превращаются в переданный звуковой сигнал. Такие системы связи существуют на многих кораблях, но прежде всего они незаменимы на подводных лодках, для которых являются единственно возможной системой подводной связи без вынесенных антенн.

Наиболее распространенным прибором, применяемым в морском деле, является эхолот, принцип работы которого основан на возможности определения расстояния до отражающего объекта по известному времени прохождения сигнала t и скорости звука $v_{зв}$ в среде.

Импульс, испущенный ультразвуковым излучателем, отражается от объекта; так как он дважды проходит определяемое расстояние, то

$$s = \frac{v_{зв}t}{2}.$$

Внимание учащихся следует обратить на то, что аналогичная формула используется в радиолокации для определения расстояния до объекта.

Устройство вертикального эхолота следующее (рис. 79): источник питания *1* и генератор ударного возбуждения *3* располагаются внутри корпуса корабля. Электрические импульсы с генератора подаются на излучатель *5*, генерирующий ультразвуковой импульс, который, пройдя до дна, отражается от него и приходит на приемник *6*. Сигнал с приемника проходит усилительный каскад *4* и подается на счетно-индикаторное устройство *2*, где по индикаторной шкале определяют интервал времени Δt между излученным и принятым импульсом.

При объяснении работы эхолота полезно продемонстрировать диапозитив «Схема ультразвукового лота».

В большинстве эхолотов происходят автоматическое испускание и прием импульсов и непрерывное измерение глубины дна под кораблем. Главным недостатком этого метода локации является неподвижность излучателя, поэтому глубина определяется только под днищем корабля.

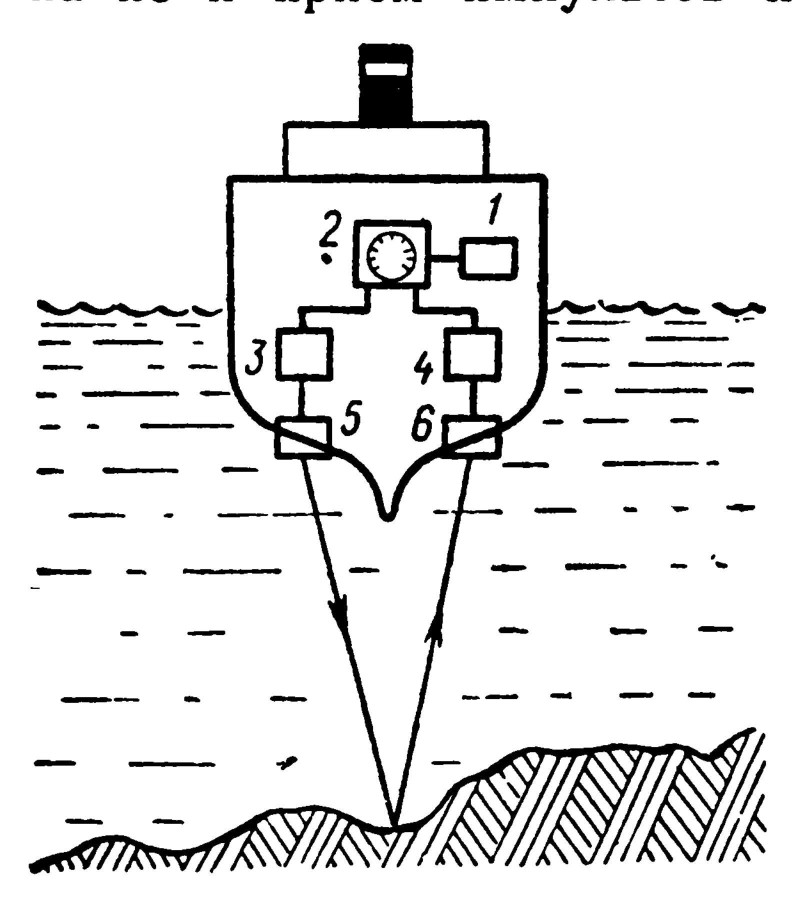


Рис. 79. Схема ультразвукового эхолота:

1 — источник питания; *2* — счетно-индикаторное устройство; *3* — генератор; *4* — усилитель; *5* — излучатель; *6* — приемник.

Эхолоты могут иметь и вертикально расположенные излучатели, которые дают возможность определять расстояние до предметов в горизонтальной плоскости. При помощи подобных эхолотов обнаруживают косяки рыб и определяют, на какой глубине они находятся (рис. 80). Ультразвуковые излучатели для обнаружения рыбных косяков расположены под днищем корабля, и каждый из них излучает в определенном направлении.

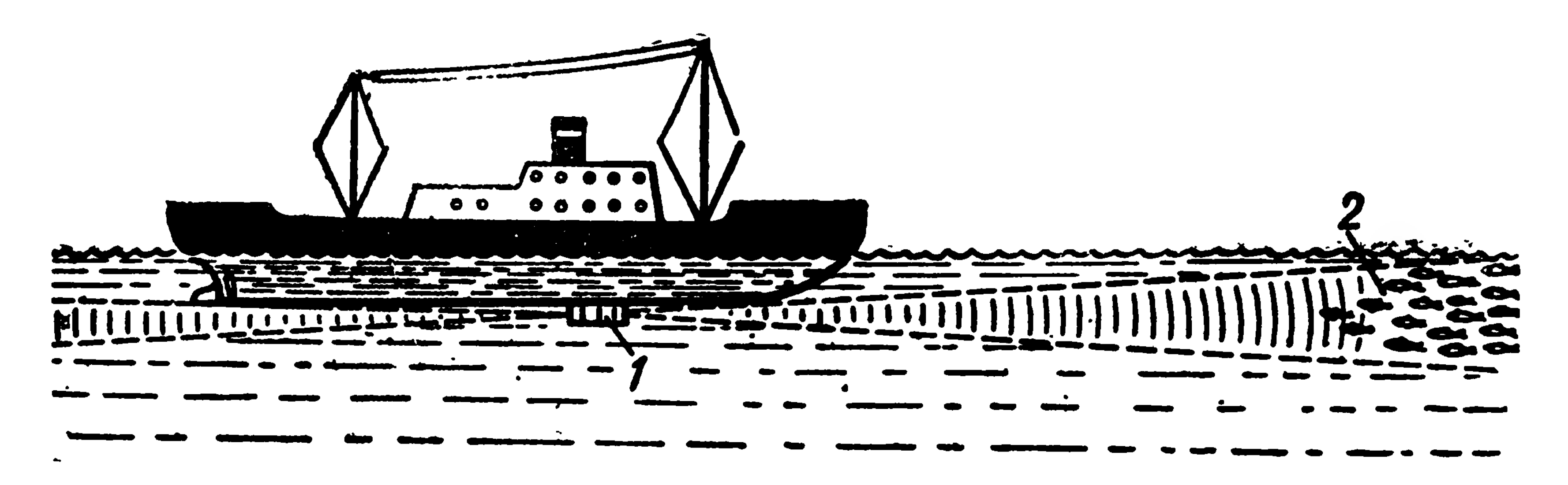


Рис. 80. Схема ультразвукового метода обнаружения косяка рыбы: *1* — источник ультразвуковых волн; *2* — косяк рыбы.

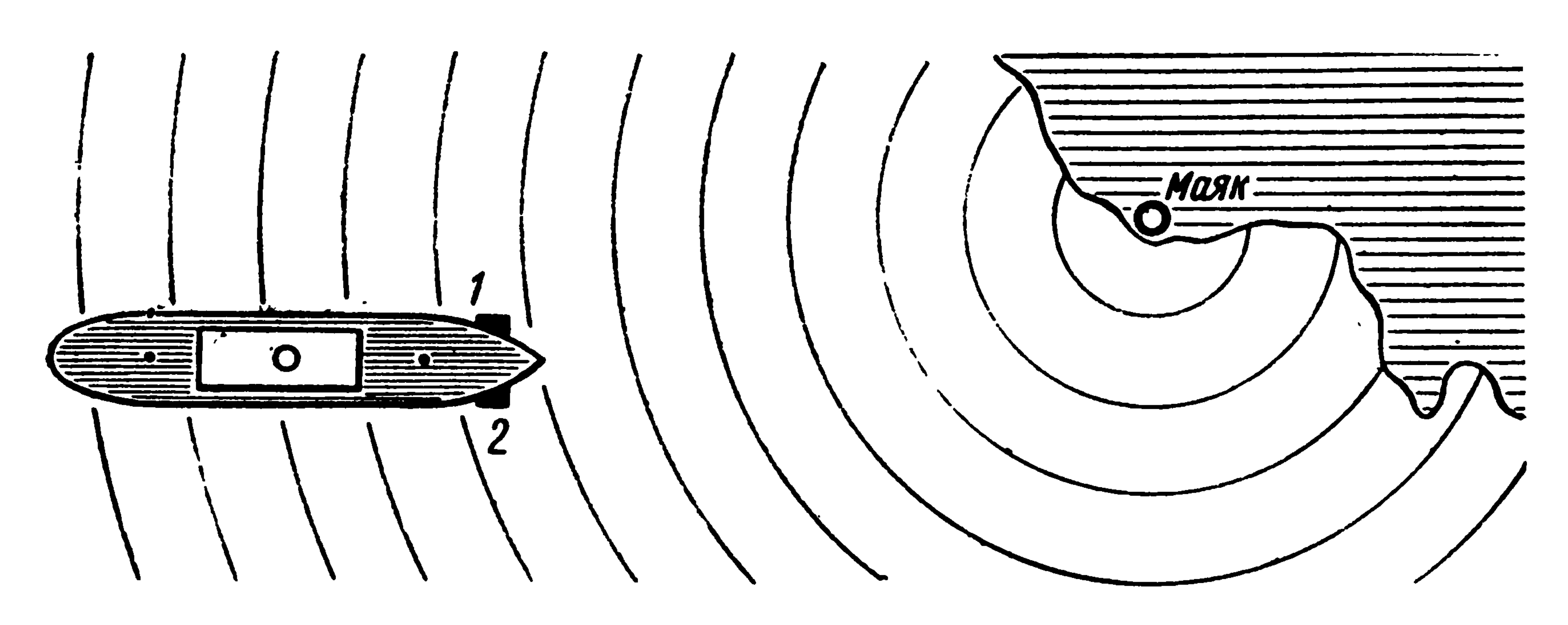


Рис. 81. Схема определения направления корабля на маяк с помощью двух приемников (*1*, *2*) ультразвуковых волн.

Распространены в мореходстве ультразвуковые маяки (рис. 81), испускающие излучение, которое с помощью двух приемников принимают корабли, находящиеся в море (возможно также применение одного вращающегося приемника). При использовании такого метода точность определения направления составляет $\pm 1-2°$.

Ультразвуковые методы в промышленности. Наиболее развитым из существующих ультразвуковых технологических применений является ультразвуковая дефектоскопия, которая основана на возможности обнаружения дефекта в изделии по значительному изменению акустических свойств в дефектных местах и по возникающим при этом явлениях дифракции, отражения и преломления.

Ультразвуковая дефектоскопия позволяет исследовать изделия больших размеров (до 5—10 м), что определяется малым затуханием ультразвуковых колебаний в большинстве веществ.

Учащихся следует ознакомить с двумя основными методами ультразвукового контроля. Один из них — эхометод (рис. 82) основан на регистрации приемником ультразвуковой волны, отраженной от края исследуемого изделия. Эхометод бывает как

непрерывный, так и импульсный, причем недостатком последнего является то, что его нельзя применять для контроля толстых изделий из-за возникающей мертвой зоны.

При втором — теневом методе дефектоскопии (рис. 83) излучатель ультразвука располагается с одной стороны исследуемой детали, а приемник ультразвука — с другой. Наибольшее распространение этот метод находит для контроля тонких изделий (труб, листового проката) с толщиной до 50 мм.

Во многих ультразвуковых устройствах в импульсном режиме можно использовать один и тот же преобразователь (пьезодатчик) в качестве излучателя и приемника ультразвуковых колебаний. В том случае, когда на пути импульса находится дефект (пузырьки воздуха или неметаллическое включение), в зависимости от размеров дефекта вся энергия импульса или часть ее отражается. При этом импульс, отраженный от противоположной поверхности изделия, приходит к приемнику позже, чем импульс, отраженный от дефекта. Зная время, за которое импульс прошел расстояние от дефекта до приемника, можно определить глубину залегания дефекта, а амплитуда отраженного импульса позволяет оценить величину дефекта.

Главным недостатком метода ультразвуковой дефектоскопии является необходимость плотного контакта излучателя и приемника с исследуемым изделием. Если контакт недостаточно плотен из-за наличия на поверхности шероховатостей или неровностей, то (особенно при теневом методе) возможна ошибка контроля.

Кроме металлургии, где с помощью ультразвуковых методов осуществляется всевозможный контроль изделий, ультразвуковые дефектоскопы широко используются на железнодорожном транспорте (для проверки рельсов). Использование рельсовых дефектоскопов позволяет достаточно надежно определять дефекты железнодорожного полотна и значительно уменьшать вероятность аварии.

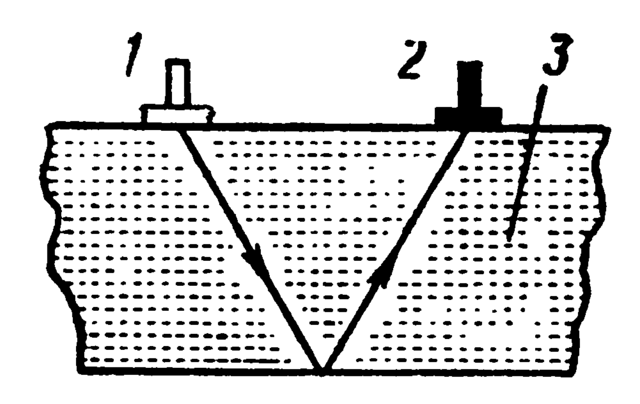


Рис. 82. Схема ультразвукового эхометода:

1 — излучатель ультразвуковых волн; *2* — приемник ультразвуковых волн; *3* — исследуемое изделие.

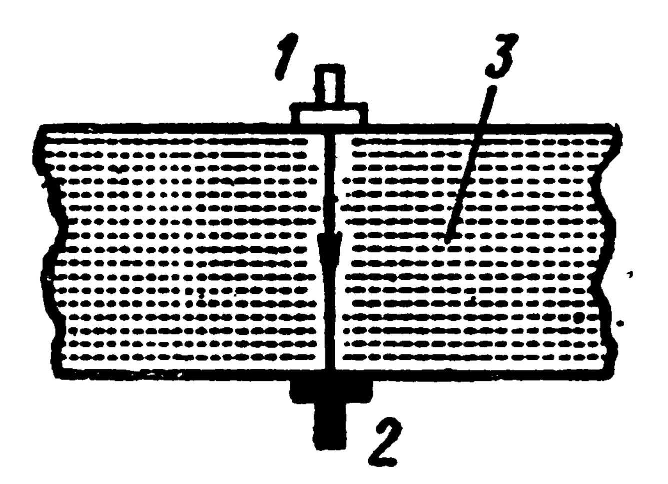


Рис. 83. Схема ультразвукового теневого метода:

1 — излучатель ультразвуковых волн; *2* — приемник ультразвуковых волн; *3* — исследуемое изделие.

Учащимся также следует рассказать об использовании ультразвуковых приборов в медицине и биологии, где разрабатываются методы ультразвукового просвечивания тканей, лечения ультразвуком. Основная сложность здесь связана с тем, что мощность ультразвукового сигнала должна быть ниже биологически воздействующей величины во избежание возможных необратимых изменений в организме. (При объяснении этого материала можно воспользоваться диапозитивом «Применение ультразвука в медицине».)

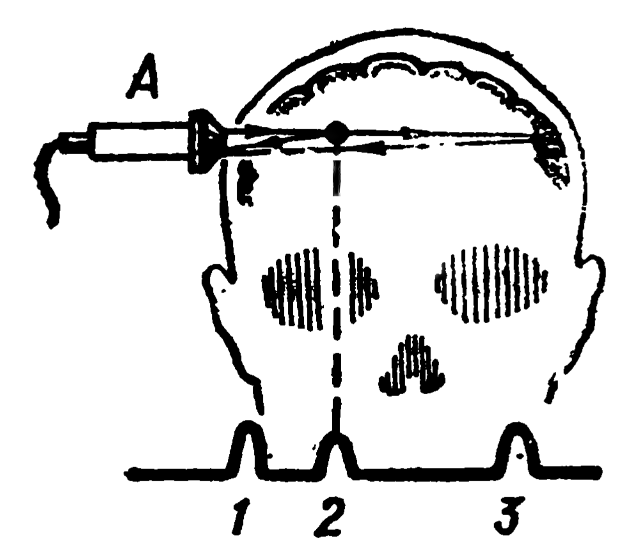


Рис. 84. Схема ультразвуковой локации мозга.

Довольно серьезной проблемой медицины считается диагностика злокачественных образований в мозге. Для этой цели применяют разработанный недавно метод ультразвуковой локации мозга (рис. 84). Сигнал, посланный и принятый излучателем — приемником *А*, воспроизводится осциллографом. Типичная осциллограмма приведена на рисунке 84 (внизу); на ней видны сигналы, отраженные от границы мозга (сигнал *1*), и от злокачественных образований (сигналы *2* и *3*). Этот метод весьма точен, с его помощью можно определять положение опухоли с точностью до 1 мм.

Использование энергии ультразвука. Мощное ультразвуковое излучение находит применение в металлургии для изменения свойств металлов и стекол в расплавленном и кристаллизующемся состояниях, что позволяет создавать материалы с заданными свойствами. Некоторые металлы (например, алюминий и кадмий) при обычных условиях не смешиваются, применение же ультразвука позволяет получить из них сплав.

Если мощным ультразвуком обрабатываются металлы в состоянии кристаллизации, то это приводит к измельчению зерна и структура отливки получается более равномерной.

Ультразвуковая пайка. Применение ультразвука позволило решить довольно важную технологическую задачу — соединение алюминия или алюминиевых сплавов. Пайка алюминия методами, применяемыми для других металлов, невозможна, так как на поверхности алюминия, соприкасающейся с кислородом, образуется окисный слой толщиной 0,001 мкм, который не удаляется обычными флюсами.

Используя ультразвук, можно осуществить безукоризненно мягкую пайку алюминия и алюминиевых сплавов. В жидком припое пленка окиси разрушается и расплавленный припой вступает в соприкосновение с неокисленной алюминиевой поверхностью. Наконечник ультразвукового паяльника (рис. 85) не только подогревается, но и совершает колебания с частотой около 20 кГц.

Ультразвуковой метод пайки позволяет получать соединения столь высокой прочности, что разрыв образцов (например, спаянной проволоки) происходит не в месте соединения, а где-то в другом месте.

Ультразвуковая обработка материалов. Учащимся следует рассказать о том, что обработка материалов ультразвуком привела к созданию принципиально новой технологии, так как до появления ультразвуковых методов считалось, что твердые тела можно обрабатывать только инструментами, изготовленными из еще более твердых веществ.

Принцип ультразвуковой обработки твердых металлов основывается на введении между рабочей поверхностью излучателя и обрабатываемой поверхностью специальной абразивной суспензии, состоящей из острогранных зерен, которые оказывают на обрабатываемый материал шлифующее или долбящее действие. При помощи созданных за последние годы ультразвуковых станков для механической обработки могут быть сделаны углубления или отверстия любой формы в таких сверхтвердых материалах, как керамика, кварц, титан, вольфрам, алмаз. По своей конструкции ультразвуковые станки похожи на сверлильные, только вместо сверла у них ультразвуковая головка.

Методы ультразвуковой очистки деталей. Очищающее действие ультразвуковых колебаний основано на явлении кавитации. Метод ультразвуковой очистки позволяет удалять любые загрязнения: масло, жир, мелкую металлическую стружку, остатки материалов, образовавшихся после шлифования и полирования.

Конструкторами были разработаны специальные ванны для ультразвуковой очистки (рис. 86). Транспортером детали подаются в ванну, где они подвергаются ультразвуковой очистке. Моющая жидкость очищается в отстойнике.

Масляные пленки и слабо прилипшие частицы удаляются ультразвуковыми колебаниями высокой частоты ($\approx$300 кГц). Твердые покрытия (например, лаки) удаляются колебаниями низких частот ($\approx$25 кГц).

Метод ультразвуковой очистки металлических изделий можно продемонстрировать следующим образом: кусок тонкого провода, покрытый вазелином, опускают в кювету с бензином или метиловым спиртом (Д. Э., т. 1, опыт 94). Включают ультразвуковой генератор и наблюдают, как частицы вазелина отрываются от провода, который через некоторое время становится чистым.

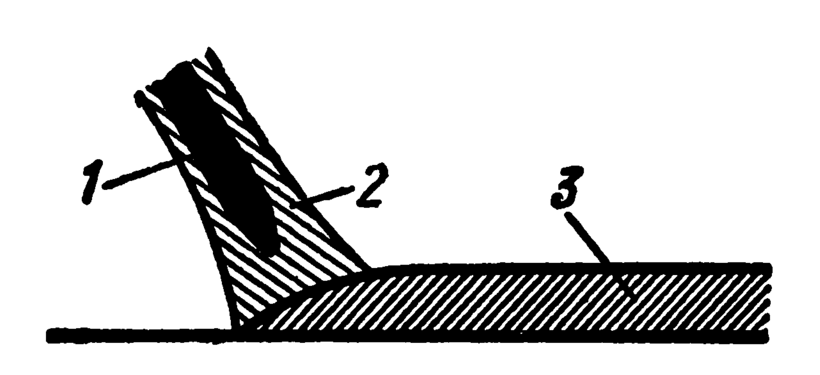


Рис. 85. Схема ультразвуковой пайки:

1 — наконечник паяльника; 2 — расплавленный оловянный припой; 3 — затвердевшее олово.

Учащимся следует сообщить, что одно из важнейших применений метода ультразвуковой очистки — предупреждение образования накипи на котлах, используемых в энергетических установках. В процессе работы на котлах, применяемых на любой тепловой и атомной станции, образуется накипь, которая сильно снижает теплоотдачу и уменьшает КПД электростанции. Для очистки котла от накипи приходится на определенный срок отключать его.

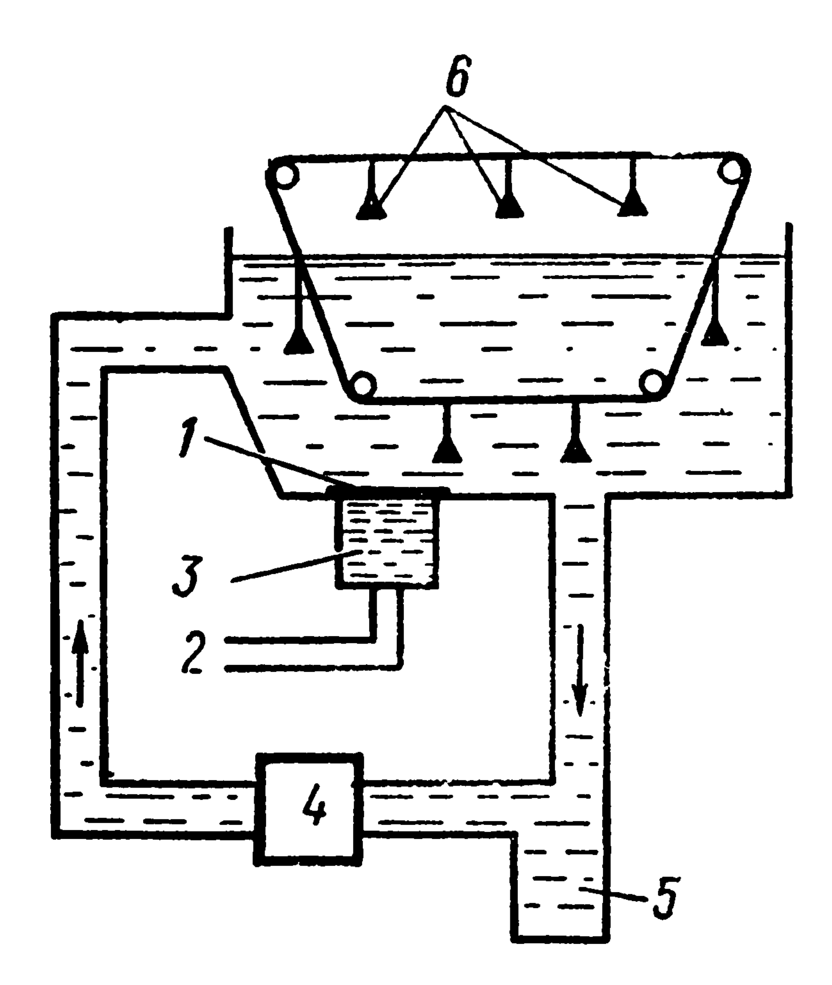


Рис. 86. Схема ультразвуковой очистки изделий:

1 — вибратор; 2 — отвод к высокочастотному генератору; 3 — контактная жидкость; 4 — насос; 5 — отстойник; 6 — очищаемые детали.

Если же вода подвергается ультразвуковой обработке, то вместо твердой накипи образуется хорошо смываемый осадок. Для очистки котла применяют специальный прибор, генерирующий колебания низкой ультразвуковой частоты.

Излучатель ультразвуковых волн (магнитострикционный вибратор) и катушка, возбуждающая в нем колебания, встроены в кожух, который имеет резьбу для ввертывания его в котел. Благодаря периодической разрядке конденсатора через катушку вибратор возбуждается.

При обсуждении различных применений ультразвука следует использовать таблицу «Применение ультразвука», а также кинофильм «Ультразвук и его применение в технике».

В результате ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны понимать, как и где в технике используется энергия и направленность ультразвукового излучения.

ЗАДАЧА

Ультразвуковой дефектоскоп, проверяющий стальную деталь, зарегистрировал два отраженных сигнала — первый через $t_1=12$ мкс после излучения, а второй — через $t_2=30$ мкс. Определите высоту детали и глубину, на которой обнаружен дефект. Скорость ультразвука в стали принять равной 5000 м/с. (Ответ: 7,5 см; 3 см.)

§ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Учащимся следует объяснить, что все применения сверхвысоких частот (СВЧ) основаны на одном физическом принципе — нагревании диэлектрических веществ в полях сверхвысоких частот.

Если электромагнитная волна проходит через диэлектрик или же это вещество помещают в поле стоячей волны СВЧ, то благодаря диэлектрическим потерям облучаемый материал нагревается. Точно так же можно нагреть и металлическое тело, если поместить его в переменное магнитное поле, которое индуцирует в металле вихревые токи.

Одно из применений колебаний сверхвысокой частоты — это склеивание фанеры в мебельной промышленности. Применяемый для этой цели метод состоит в следующем.

Излучение СВЧ с помощью рупорной антенны и линзы фокусируется в пятно, имеющее размеры порядка длины волны λ. Чтобы устранить отражение от поверхности облучаемой диэлектрической среды, эту поверхность покрывают слоем толщиной $\frac{\lambda}{4}$ с подходящей диэлектрической постоянной (рис. 87).

Следует рассмотреть также применение СВЧ для целей индукционного нагрева. Индукционная нагревательная установка — это электротермическая установка для нагрева металлических заготовок или деталей с применением индукционного нагрева. Эти установки широко применяются для сквозного нагревания металлических заготовок перед горячей обработкой давлением и для поверхностной закалки стальных изделий.

Тигельная индукционная печь (рис. 88) состоит из индуктора *3*, представляющего собой соленоид, выполненный из медной водоохлаждаемой трубки, и тигля *1*, который в зависимости от свойств расплава изготовляется из керамических материалов, стали, графита. В тигельных электропечах выплавляют сталь, чугун, драгоценные металлы, медь, алюминий, магний. Емкость их составляет от нескольких сотен килограммов до сотен тонн.

Индукционные печи обеспечивают высокое качество переплавленного металла.

Рассказывая о применении токов сверхвысокой частоты для закалки, учитель может использовать диапозитив «Закалка током высокой частоты».

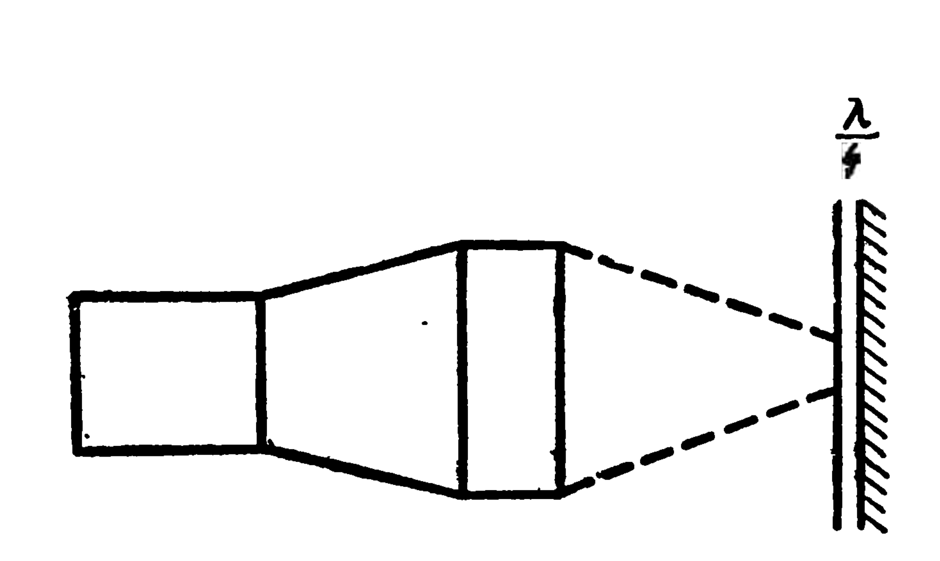


Рис. 87. Применение сверхвысокочастотного излучателя для склеивания фанеры.

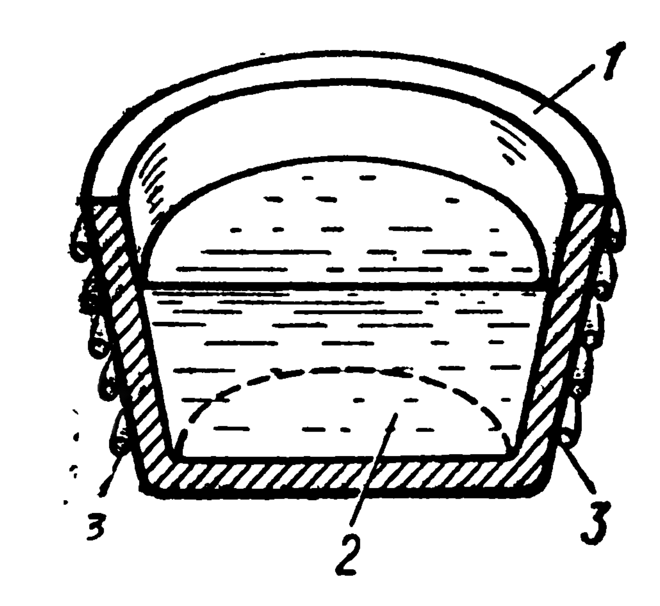


Рис. 8. Разрез индукционной печи:
1 — тигель; *2* — расплавленный металл; *3* — индуктор.

Таким образом, в результате ознакомления с материалом этого параграфа учащиеся должны понять основные принципы использования сверхвысоких частот в технике.

§ 4. ГЕНЕРАТОР И ДВИГАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Генератором переменного тока называют устройство, преобразующее механическую энергию вращения в электрическую энергию переменного тока.

Генератор переменного тока состоит из неподвижной части — статора (якоря) (*А* на рис. 89) и вращающейся части — ротора (индуктора) (*В* на рис. 89). На внутренней поверхности статора в осевых впадинах (пазах) расположены проводники (обмотка переменного тока). Статор генератора изготовляют из тонких (до 0,35 мм толщиной) спрессованных листов специальной стали, изолированных лаковой пленкой или бумагой. Стальные листы статора укрепляются в станине машины. Ротор располагается внутри статора. Для специальных целей применяют роторы различной конструкции. В турбогенераторах, которые вращаются с большой скоростью, ротор представляет собой весьма массивный стальной цилиндр с осевыми пазами, в которых размещаются обмотки возбуждения постоянного тока (*1, 2, 3* на рис. 89). В тихоходных машинах (гидрогенераторах) ротор имеет форму звезды, на внешней поверхности которой укрепляются электромагниты чередующейся полярности, возбуждаемые постоянным током. В генераторах малой мощности применяют иногда конструкции, в которых обмотка переменного тока располагается на роторе, а обмотка возбуждения — на статоре.

Ротор генератора переменного тока вращается двигателем (паровой турбиной, гидротурбиной и т. д.).

Обмотки ротора питаются постоянным током от генератора постоянного тока (так называемого возбудителя), который обычно размещается на общем валу с генератором, а иногда от выпрямительного устройства, которое само питается от зажимов этого же генератора переменного тока.

Следует подчеркнуть, что преимущества использования переменного тока для передачи и распределения электроэнергии связаны с удобством трансформации напряжения переменного тока. По сравнению с машинами постоянного тока генераторы и двигатели переменного тока при равной мощности надежнее в эксплуатации, меньше по габаритам и дешевле. Важно и то, что переменный ток может быть выпрямлен, а затем с помощью специальных устройств (инверторов) преобразован в переменный ток другой частоты.

По принципу действия генераторы и двигатели переменного тока разделяют на синхронные и асинхронные. В синхронных машинах магнитное поле создается постоянным током, а ротор вращается синхронно с частотой переменного тока. Наоборот,

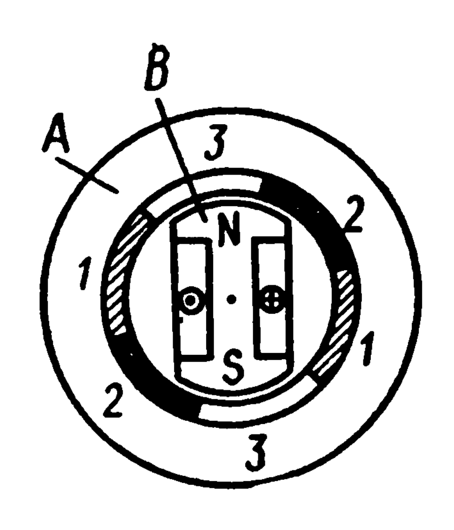


Рис. 89. Трехобмоточный генератор:
А — статор; *В* — ротор; *1, 2, 3* — обмотки.

в асинхронных машинах переменного тока в общем случае частота вращения ротора не совпадает с частотой тока в обмотке статора. Достоинством асинхронных машин является простота их конструкции и высокая надежность в работе, однако их трудно (а часто и невозможно) использовать в тех случаях, когда требуется большой пусковой момент или плавная регулировка числа оборотов в больших пределах. И синхронные и асинхронные машины обладают свойством обратимости, т. е. они могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя.

Генераторы переменного тока выпускаются самой различной мощности: от долей ватта до 500 МВт (генераторы такой мощности установлены на Красноярской ГЭС). Столь мощные генераторы весьма совершенны, их КПД близок к 100%.

После рассмотрения материала этого параграфа учащиеся должны усвоить принцип действия машин переменного тока.

§ 5. ГЕНЕРАТОР И ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Начиная рассказ о принципах работы генератора и двигателя постоянного тока, следует обратить внимание учащихся на то, что эти машины обратимы, т. е. одна и та же машина может использоваться в качестве генератора или двигателя.

Необходимо прежде всего подчеркнуть, что в основе преобразования механической энергии в электрическую в генераторе постоянного тока лежит закон электромагнитной индукции. Используя основные положения этого закона, нужно объяснить принцип действия генератора постоянного тока на примере упрощенной модели (рис. 90), которая состоит из статора (индуктора) и вращающейся рамки (якоря). Как правило, рамка выполняется из нескольких витков. Концы витков соединены с медными полукольцами — коллектором, необходимым для того, чтобы ток от обмотки якоря во внешнюю цепь (в генераторе) или из этой цепи в обмотку якоря (в двигателе) проходил только в одном направлении.

Генераторы постоянного тока характеризуются номинальной мощностью, номинальным напряжением и номинальным током. Номинальные характеристики всегда несколько превышают те, которые характерны для нормального режима работы, например, если в паспорте двигателя указано, что номинальный режим его работы — 20 А, то это означает, что нормальной работе двигателя соответствует ток меньший или в крайнем случае равный 20 А, если же он будет превышать это значение, то дви-

гатель при работе будет перегреваться и быстро выйдет из строя.

Часто учащиеся думают, что в генераторах для создания магнитного поля используются постоянные магниты. Поэтому следует рассказать, что постоянные магниты применялись лишь в самых первых электрических машинах, а затем были повсеместно вытеснены электромагнитами из-за своих недостатков: небольшого магнитного потока и его уменьшения с течением времени. Используемые сейчас электромагниты питаются постоянным током.

Генераторы постоянного тока по сравнению с генераторами переменного тока имеют значительно больший диапазон и точность регулирования частоты вращения. В СССР выпускают генераторы постоянного тока мощностью до сотен киловатт, которые используются на городском электрическом транспорте, для электропривода прокатных станов, в подъемных кранах всех типов.

Говоря о принципе действия двигателя постоянного тока, следует отметить, что в нем постоянный ток подается к щеткам от питающей электрической сети. В реальном двигателе якорь состоит из большого числа проводов, причем на каждый из них действует сила, определяемая взаимодействием магнитного поля тока, протекающего в обмотке якоря, и магнитного поля, создаваемого электромагнитом. Совокупность всех этих сил создает момент, определяющий вращение якоря в определенном направлении.

Желательно рассмотреть с учащимися вопрос о том, как можно изменять направление вращения двигателя. На практике встречаются случаи, когда исполнительный механизм требует изменения направления своего вращения, что может быть осуществлено с помощью электрического двигателя. Для этого необходимо изменить направление тока либо в обмотке якоря, либо в обмотке возбуждения электромагнита.

Двигатели постоянного тока по сравнению с двигателями переменного тока имеют весьма важное преимущество: возможность регулирования частоты вращения в широком диапазоне. Поэтому эти двигатели применяются на транспорте, в металлургии, в системах автоматического регулирования и в бытовых электрических устройствах. Как правило, двигатели постоянного тока используются там, где нужны двигатели, допускаю-

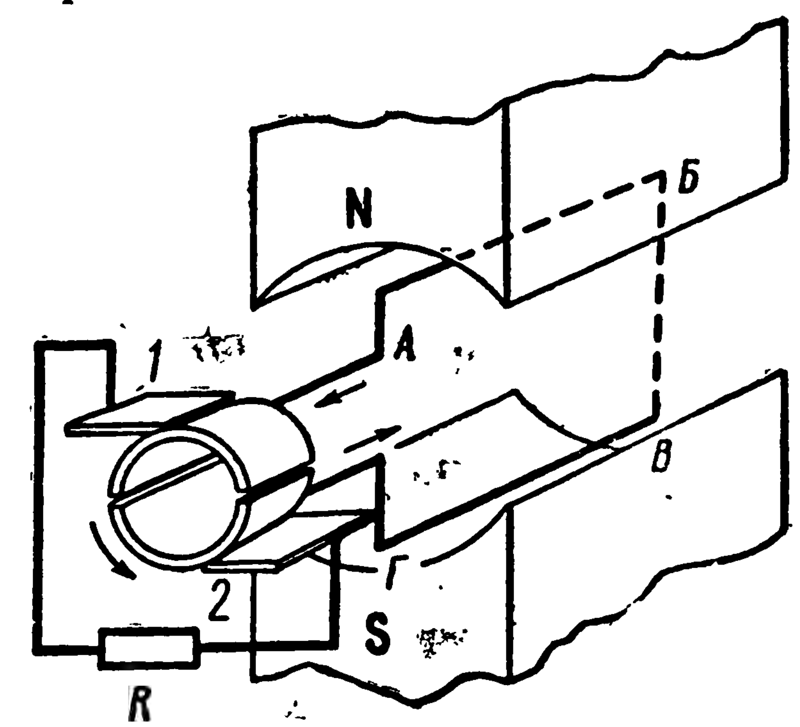


Рис. 90. Принцип устройства генератора постоянного тока.

щие перегрузку и возможность плавного изменения скорости вращения в широких пределах. Это и определяет их повсеместное применение на транспорте, где требуется исключительно плавная регулировка скорости (с этой точки зрения здесь неприменимы двигатели переменного тока). Наиболее распространенные в настоящее время тяговые двигатели постоянного тока трамваев имеют мощность от 30 до 60 кВт и работают при напряжении 550 В. На железнодорожном транспорте используются двигатели мощностью 300—500 кВт при напряжении 750—1500 В. Двигатели, устанавливаемые на подъемных кранах, имеют мощность от 3 до 100 кВт при напряжении до 500 В.

Нужно, чтобы после рассмотрения материала, изложенного в этом параграфе, учащиеся знали принцип работы машин постоянного тока, их преимущества и недостатки по сравнению с машинами переменного тока.

§ 6. ТРАНСФОРМАТОР

Электрическим трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, преобразующее переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте.

Роль трансформаторов исключительно велика прежде всего с точки зрения передачи электроэнергии. Ведь только повышая напряжение, можно передавать электрическую энергию на большие расстояния с малыми потерями. Назначение трансформаторов и заключается в том, чтобы при передаче переменного тока от источника энергии на дальнее расстояние повышать напряжение, а при подходе к потребителю понижать его.

Устройство трансформатора и принцип его действия достаточно подробно рассмотрены в учебнике по физике для X класса, поэтому учителю следует обратить внимание учащихся на технические характеристики и работу трансформатора в рабочем режиме.

В технике различают два основных нагрузочных режима работы трансформатора: режим холостого хода и рабочий режим.

Режимом холостого хода трансформатора называется такой режим его работы, при котором к первичной обмотке трансформатора подводится номинальное напряжение U_1, а вторичная обмотка разомкнута. По первичной обмотке в режиме холостого хода протекает ток I_0, который, как правило, составляет 3—10% номинального тока.

Бо́льшая часть магнитных потоков, создаваемых первичной и вторичной обмотками трансформатора, замыкается через сердечник, другая — меньшая часть — в виде потоков рассеивания замыкается вокруг отдельных витков через воздух.

В реальном трансформаторе необходимо учитывать потери и рассеяние магнитного потока, которые происходят в стали

и меди. К потерям в стали относятся потери на гистерезис и вихревые токи, возникающие в стальном сердечнике; электрические потери в меди трансформатора складываются из потерь на тепло в его обмотках при нагревании их током. От других машин и аппаратов трансформатор отличается замкнутой системой и отсутствием вращающихся частей. Поэтому потери в нем малы и КПД мощных трансформаторов достигает 99%.

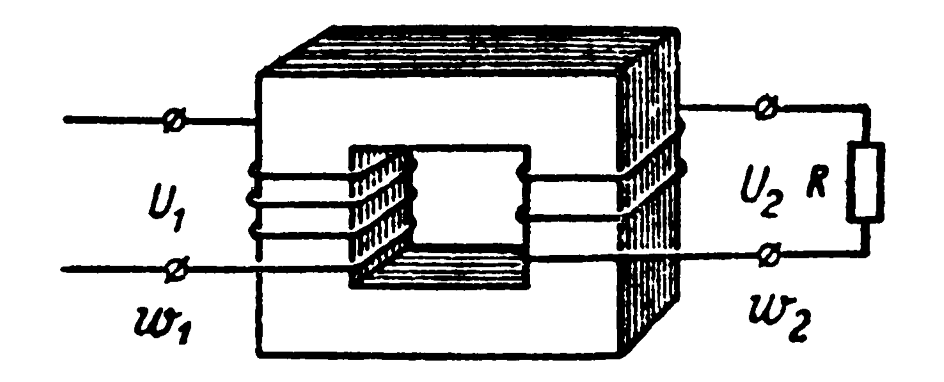


Рис. 91. Трансформатор в нагруженном режиме.

При испытании трансформаторов всегда снимают характеристики холостого хода.

Рабочий режим трансформатора — это основной режим, который получается в том случае, когда к зажимам первичной обмотки трансформатора приложено номинальное напряжение сети U_1, а зажимы вторичной обмотки замкнуты на сопротивление (рис. 91).

Основной характеристикой трансформатора является коэффициент трансформации k:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} \approx \frac{U_1}{U_2}.$$

Другая важная характеристика трансформатора — коэффициент полезного действия η, который определяется выражением

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{ст} + P_м} \text{ или } \eta = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi_2}{U_1 I_1 \cos\varphi_1},$$

где P_2 — мощность, выделяющаяся во вторичной обмотке;
$P_м$ — потери в меди обмоток;
$P_{ст}$ — потери в стали на гистерезис;
$\cos\varphi_1$ — косинус сдвига по фазе между напряжением и током в первичной цепи;
$\cos\varphi_2$ — косинус сдвига по фазе между напряжением и током во вторичной цепи.

Многочисленные эксперименты показали, что в режиме короткого замыкания вся потребляемая трансформатором мощность расходуется на потери в меди обмоток, а в режиме холостого хода вся мощность расходуется на потери в стали на гистерезис. КПД трансформатора максимален, когда потери в меди равны потерям в стали.

Анализ зависимости КПД трансформатора η от мощности P_2 (рис. 92), потребляемой во вторичной обмотке, весьма важен. Нужно указать, что с увеличением нагрузки КПД резко увеличивается и достигает максимума при нагрузке, равной

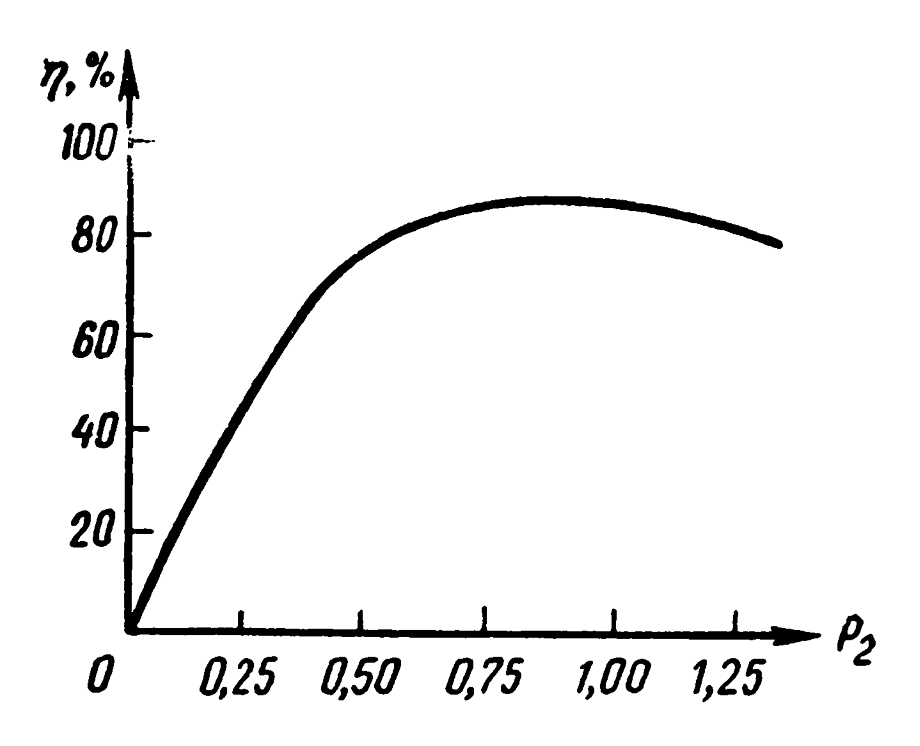


Рис. 92. Зависимость КПД (η) трансформатора от мощности, потребляемой во вторичной обмотке.

50% номинальной. При дальнейшем увеличении нагрузки до ее номинального значения КПД практически не меняется, а при перегрузке уменьшается из-за возрастания потерь в трансформаторе.

Таким образом, учащиеся должны усвоить, что КПД трансформатора, в отличие от коэффициента трансформации, не является постоянной величиной, а зависит от ряда параметров (см. формулу для η).

Конструкции трансформаторов определяются передаваемой мощностью, диапазоном частот тока, а также величиной ЭДС, возникающей в обмотках. Сейчас заводы нашей страны выпускают трансформаторы мощностью от долей ватта до 1000 МВт; самые мощные трансформаторы рассчитаны на напряжение до 750 кВ. Необходимость создания дальних линий передач заставит в ближайшее десятилетие выпускать трансформаторы, рассчитанные на напряжение 1000 кВ и выше. Трансформаторы, рассчитанные на такие напряжения, — грандиозные сооружения с массой в сотни тонн и размерами в десятки метров.

Основные вопросы, связанные с устройством и применением трансформаторов, разобраны в диафильме «Трансформаторы», демонстрацию которого можно рекомендовать при объяснении этого материала.

Роль трансформатора в передаче электрической энергии на расстояние. Изучение этой темы полезно начать с решения такой задачи.

На электростанции установлен генератор постоянного тока мощностью 200 кВт, напряжением 230 В. Какое сечение должны иметь медные провода линии электропередачи, идущей от этого генератора к потребителю, расположенному на расстоянии 10 км от электростанции?

Ток, протекающий как по обмотке генератора, так и в линии передачи, равен:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{200\,000\ \text{Вт}}{230\ \text{В}} = 870\ \text{А}.$$

В любой линии электропередачи имеются тепловые потери. Пусть они составляют 10% передаваемой мощности, т. е. 20 кВт.

Из формулы $P_1 = 2I^2R$ можно найти сопротивление одного провода:

$$R = \frac{P_1}{2I^2} = \frac{20\,000 \text{ Вт}}{2 \cdot 870^2 \text{ А}^2} = 0{,}013 \text{ Ом}.$$

Так как $R = \rho \frac{l}{S}$, то сечение провода

$$S = \frac{\rho l}{R} = 13\,461 \text{ мм}^2.$$

1 м такого провода имеет массу 119,8 кг, а вся линия — 2396 т.

Отсюда учащиеся должны сделать вывод: пользоваться постоянным током низкого напряжения для передачи электроэнергии на большие расстояния нельзя.

Пусть теперь вместо генератора постоянного тока на электростанции стоит генератор переменного тока (рис. 93), который вырабатывает то же напряжение 230 В при мощности 200 кВт. Прежде чем передавать эту мощность, напряжение повышают, например повышающим трансформатором $Тр_1$ с коэффициентом трансформации 1 : 43,4. Тогда напряжение в линии передачи будет $230 \cdot 43{,}4 \approx 10\,000$ В.

Ток в линии передачи:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{200\,000 \text{ Вт}}{10.000 \text{ В}} = 20 \text{ А}.$$

Сопротивление линии:

$$R = \frac{P}{2I^2} = \frac{2 \cdot 10^5 \text{ Вт}}{2 \cdot 400 \text{ А}^2} = 250 \text{ Ом},$$

и для сечения получается значение

$$S = 7{,}1 \text{ мм}^2.$$

Из рассмотренного примера легко сделать вывод о значении трансформатора для передачи электроэнергии на расстояние. Увеличивая напряжение в линии при помощи повышающего трансформатора, уменьшают ток в проводах линии, что позволяет выбрать меньшее сечение проводов.

Передачу энергии с применением трансформатора можно показать, используя схему, состоящую из магнитоэлектрической машины, двух трансформаторов, изолирующих штативов, лампочки и проводников.

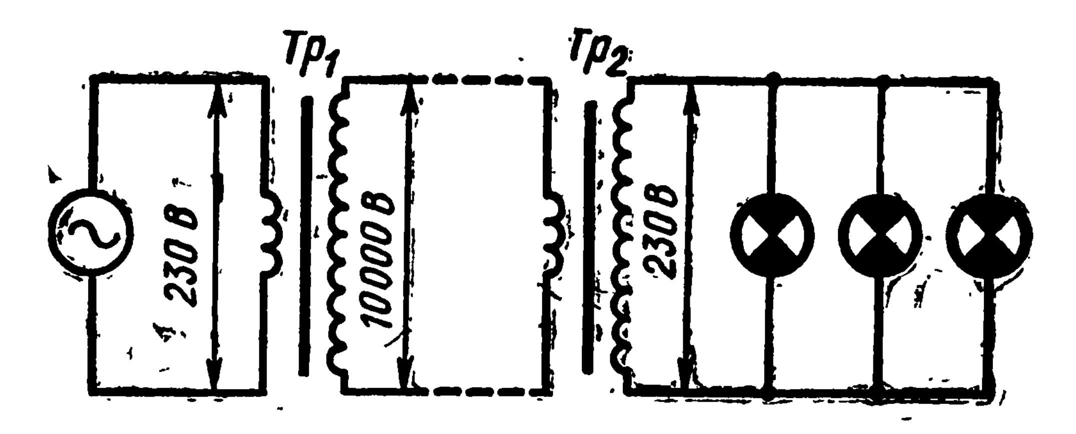


Рис. 93. Роль трансформаторов в передаче электрической энергии на расстояние.

Так как потребитель не может быть подключен к высокому напряжению, в конце линии ставят второй — понижающий трансформатор $Тр_2$ с коэффициентом трансформации 43,4 : 1. Напряжение в сети потребителя энергии будет 230 В. Однако вследствие потерь в линии передач, которые не учитывались, потребляемое напряжение будет несколько меньше 230 В.

Назначение трансформаторов связано, конечно, не только непосредственно с передачей энергии. Выпускаются бытовые автотрансформаторы, трансформаторы для электропечей, трансформаторы для релейной защиты, а также трансформаторы малой мощности для питания устройств автоматики, радио и связи.

После ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны понимать, как работает трансформатор в режиме холостого хода и нагруженном режиме; какова роль трансформатора в передаче электроэнергии.

ЗАДАЧИ

1. Ток в первичной обмотке трансформатора 0,5 А, напряжение на клеммах 220 В. Определите напряжение на вторичной обмотке, если коэффициент трансформации $k=0,2$. Какой ток проходит во вторичной обмотке трансформатора? (Ответ: 1100 В; 0,1 А.)

2. Изменится ли соотношение между напряжениями на зажимах первичной и вторичной обмоток трансформатора, если железный сердечник заменить алюминиевым?

3. Почему нагруженный трансформатор гудит?

§ 7. ПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Обсуждение вопросов производства электроэнергии очень важно не только с точки зрения усвоения учащимися определенного физического материала. Все эти вопросы имеют серьезное социально-экономическое значение, так как позволяют показать динамику развития энергетики и всего общества в целом. Кроме того, они несут огромную воспитательную нагрузку, показывая реализацию ленинских идей по электрификации СССР и дальнейшее развитие энергетики.

Следует обратить внимание учащихся на то, что основы советской энергетики были заложены после выполнения ленинского плана ГОЭЛРО, который является первым государственным планом развития народного хозяйства на основе электрификации. Выполнение плана ГОЭЛРО позволило приступить к широкому развитию промышленности в нашей стране. По этому плану намечалось построить 30 электростанций общей мощностью 1750 МВт. План ГОЭЛРО был выполнен в 1930 г., производство электроэнергии возросло по сравнению с 1913 г. более чем в 4 раза. Построенные к 1930 г. электростанции оснащались мощными (по тем временам) агрегатами (40—50 МВт).

О темпах дальнейшего роста производства электроэнергии можно рассказать, используя таблицу 8.

Таблица 8

Год	1930	1940	1950	1960	1970	1975
Производство электроэнергии, ТВт·ч . . .	8	48	91	292	740	1038

Таким образом, в 1975 г. электростанции СССР выработали свыше одного триллиона киловатт-часов электроэнергии. Если сравнить с уровнем 1950 г., то нужно отметить, что за последние 25 лет производство электроэнергии возросло в 11 раз.

Необходимо, чтобы учащиеся поняли, что при плановом развитии экономики рост энергетики должен опережать развитие производства. Сейчас ежегодный ввод новых мощностей электростанций составляет примерно 14 ГВт. Для сравнения можно привести такую цифру: мощность всех электростанций СССР в 1940 г. составляла 11 ГВт. Уже в 80-е годы для удовлетворения энергетических потребностей страны необходимо будет вводить 15—20 ГВт установленных мощностей электростанций.

Далее следует рассказать о создании единой энергетической системы (сокращенно — ЕЭС). Электроэнергию выгодно вырабатывать непрерывно, а ее потребление очень неравномерно в течение суток. На рисунке 94 представлен типичный график потребления электроэнергии в течение суток в промышленном районе. Крутизна этого графика даже в часы «пик» неравномерна и максимальна в интервале между 7 и 8 ч утра, когда происходит массовое включение станков и технологического оборудования. Если совместить графики районов с различными часовыми поясами, то неравномерность графика будет значительно

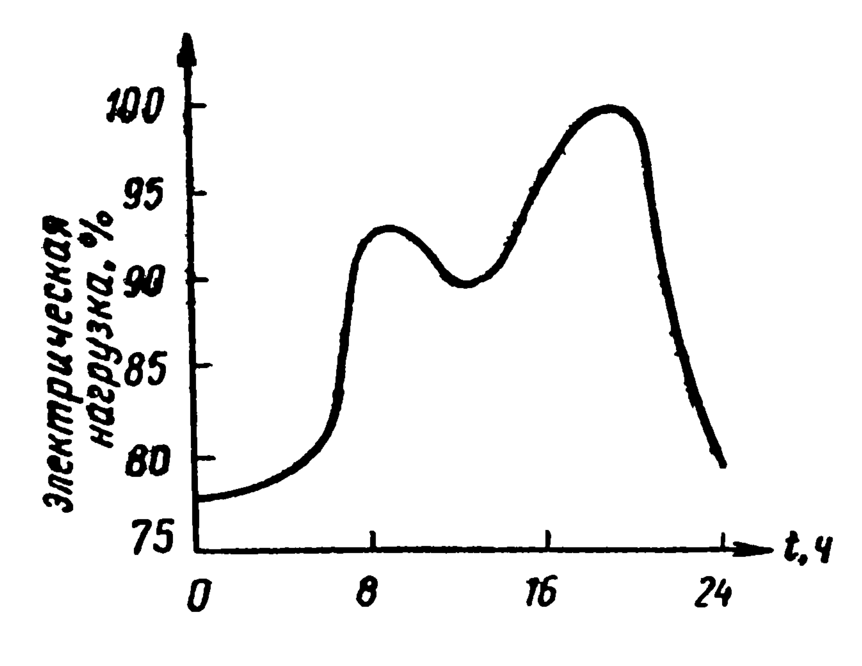


Рис. 94. Потребление энергии в течение суток.

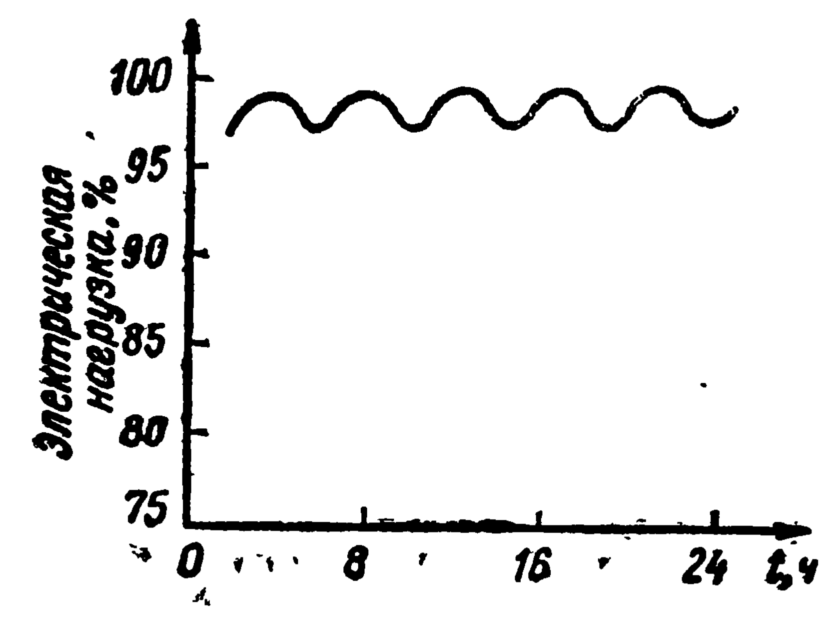


Рис. 95. Выравнивание графика электрической нагрузки.

сглажена (рис. 95, по оси абсцисс отложено единое время, а максимум каждого района сдвинут относительно другого на определенное число часов — в нашем случае — на 2 ч). В результате график нагрузки имеет весьма незначительные колебания относительно максимума (около 2—3%). Объединение большинства районов СССР в единую энергетическую систему позволяет транспортировать энергию в различные районы и выравнивать график потребления энергии в целом по стране.

К началу 1976 г. установленная мощность электростанций единой энергетической системы СССР достигла 155 ГВт (155 млн. кВт).

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» указано, что в 1980 г. в нашей стране будет произведено 1340—1380 ТВт·ч электроэнергии. На электростанциях будут введены энергоблоки общей мощностью 67—70 ГВт.

Электрическая энергия находит самое широкое применение в промышленности и сельском хозяйстве, на транспорте и в быту.

Говоря об использовании электроэнергии в промышленности, нужно прежде всего отметить, что наибольшее количество электроэнергии в промышленности тратится на электропривод. Претворение в жизнь программы электрификации нашей страны позволило ликвидировать паровой привод промышленности (на основе паровых двигателей) и полностью внедрить электрический привод, при этом все более применяется автоматический электропривод. Внедрение автоматического электропривода сыграло решающую роль в промышленности, явившись основой поточного производства машин и оборудования. Сейчас коэффициент электрификации превышает 90%. Ярким примером успехов электрификации может служить отечественная угольная промышленность, где практически все виды работ полностью электрифицированы.

Очень много электроэнергии в промышленности расходуется на электротермию, широкое использование которой началось прежде всего в сталеплавильной промышленности. Плавление стали в индукционных электронагревательных печах выгодно отличается от других способов высокой скоростью плавки и возможностью довольно тонко регулировать технологический режим. Сталь, выплавленная электротермическим способом, отличается, как правило, высоким качеством. Совместно с развитием производства электросталей быстрыми темпами развивается выплавка электроферросплавов (феррохрома, ферровольфрама и др.).

Во многих отраслях промышленности получили развитие методы прямого нагрева изделий — контактный и индукционный. Они используются при нагреве металла под обработку давлением, поэтому нагревательные устройства могут работать в

одном темпе с кузнечно-прессовым оборудованием. Очень высокими темпами развивается электросварка, все большее применение находят электросварочные автоматические аппараты.

Рассматривая использование электроэнергии на транспорте, учитель может рассказать учащимся, что впервые электрический двигатель был применен в 30-х годах прошлого века русским ученым Якоби, который пустил по Неве шлюпку, приводимую в движение электродвигателем, питаемым гальваническими элементами. Однако в дальнейшем электротяга на речном транспорте практически не использовалась.

Самое же широкое распространение получила электрификация железнодорожного транспорта. В Советском Союзе электротяга на переменном токе была впервые применена на экспериментальном участке Москва—Ожерелье. Несколько лет назад вступили в строй самые протяженные в мире магистрали Москва—Байкал (протяженность 5500 км) и Ленинград—Ленинакан (протяженность 3500 км). В 1975 г. протяженность электрифицированных железных дорог страны составила 38,8 тыс. км, а средняя скорость движения на электрифицированных железных дорогах — 54,6 км/ч.

Далее следует остановиться на электрификации городского транспорта (трамвай, троллейбус, метро).

Вопросу применения электроэнергии в сельском хозяйстве следует уделить особое внимание.

Электрификация сельского хозяйства началась сразу же после Великой Октябрьской социалистической революции; уже до 1920 г. было построено несколько сельских электростанций, на открытии одной из них в деревне Кашино присутствовал В. И. Ленин.

За годы Советской власти электрификация сельского хозяйства стала важным средством превращения этой отрасли народного хозяйства в современное машинное производство. Применение электрической энергии позволяет осуществлять автоматизацию производственных процессов сельского хозяйства, при этом намного облегчается труд, уменьшаются производственные затраты.

В колхозах и совхозах нашей страны электроэнергия идет в основном на следующие процессы: водоснабжение животноводческих ферм, приготовление кормов, мелиорацию, доение и первичную обработку сельскохозяйственной продукции.

Наиболее эффективна электрификация производственных процессов животноводства, так как большинство машин, устанавливаемых на животноводческих фермах, стационарны. Перспективным потребителем электроэнергии на селе являются тепличные хозяйства, количество которых в ближайшие годы резко возрастет.

В заключение учитель должен отметить, что электрификация сельского хозяйства характеризуется не только чисто количест-

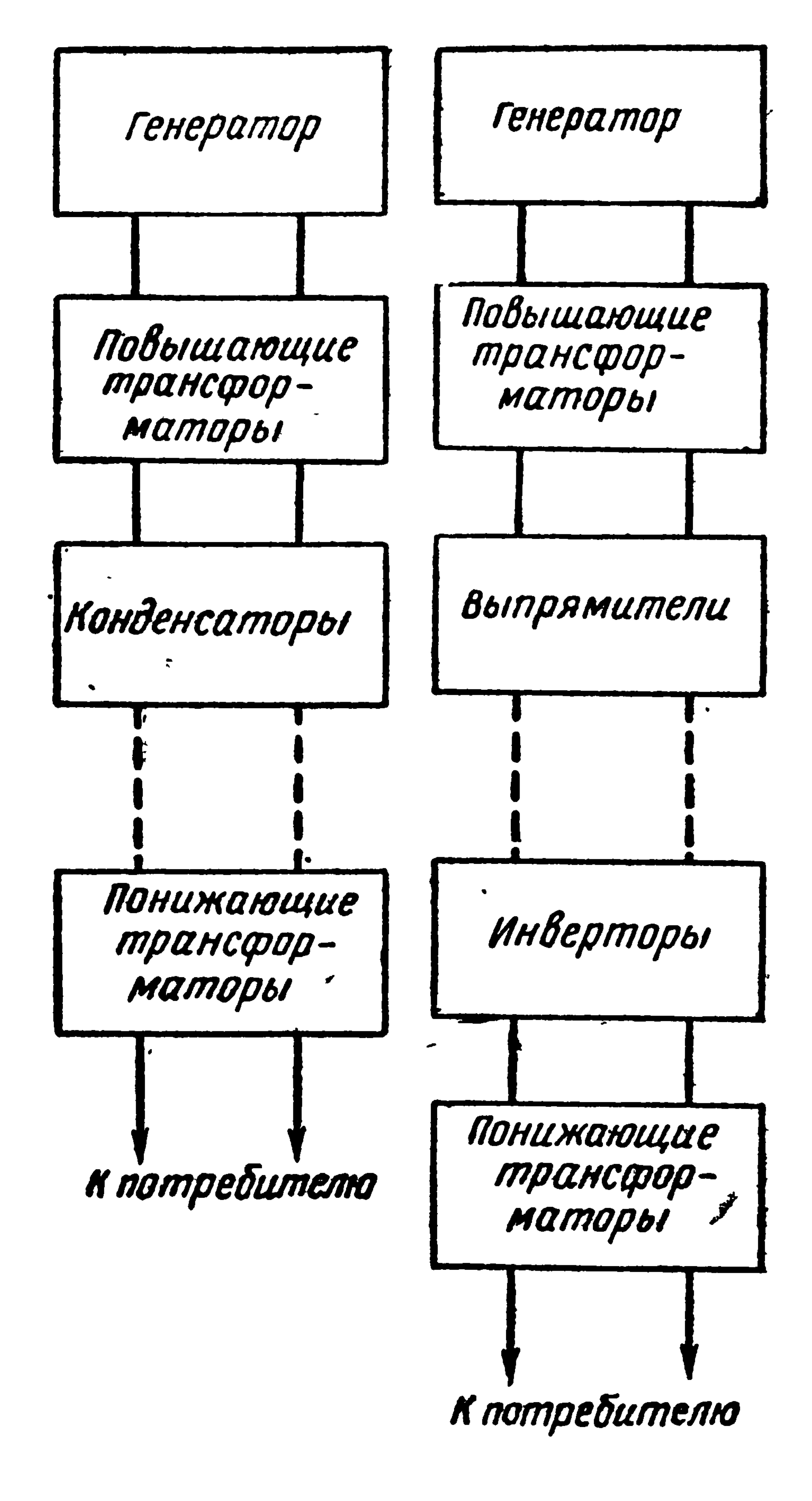


Рис. 96. Блок-схема линии электропередачи переменного тока.

Рис. 97. Блок-схема линии электропередачи постоянного тока.

венным увеличением использования электроэнергии, но и качественными изменениями. Главные из них заключаются в том, что происходит повсеместное присоединение сельскохозяйственных производств к государственным энергосистемам, а также объединение электростанций в энергосистемы.

Вопросы использования электроэнергии достаточно подробно рассмотрены в кинофильме «Передача и использование электроэнергии», который желательно показать учащимся.

После рассмотрения всего этого материала, у учащихся формируется представление об основных вопросах, связанных с производством электроэнергии и ее использованием в народном хозяйстве СССР.

§ 8. ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Вопросы передачи электроэнергии особенно важны для нашей страны с ее большими энергоресурсами и потребителями электроэнергии; распределенными достаточно неравномерно.

С учащимися следует рассмотреть, как осуществляется электропередача переменного и постоянного тока. При объяснении этого материала полезно использовать таблицу «Схема передачи и распределения электроэнергии» и диафильм «Воздушные линии электропередач».

На рисунке 96 представлена блок-схема линии электропередачи переменного тока. Если линия имеет достаточно большую длину (≈ 1000 км), то для компенсации ее собственной индуктивности устанавливают батареи конденсаторов. Безусловное преимущество линии передачи переменного тока заключается в том, что трансформатор, установленный в любом месте линии,

позволяет направить электроэнергию любому потребителю. Весьма серьезным недостатком электропередачи переменным током является возникновение коронного разряда около проводов линий электропередач, что приводит к потере энергии и радиопомехам.

В электропередаче постоянным током переменное напряжение, вырабатываемое генератором, сначала повышают при помощи трансформатора, а затем выпрямляют. В конце линии передачи имеется устройство обратного преобразования постоянного тока в переменный (инвертор) и понижающий трансформатор (рис. 97).

Строительство линий электропередач в СССР началось в связи с выполнением ленинского плана ГОЭЛРО. Первая линия электропередачи переменного тока напряжением 110 кВ была построена от Каширской электростанции до Москвы.

В таблице 9 приведены данные о развитии линий электропередачи в СССР и различные показатели электропередачи сверхвысокого напряжения.

Таблица 9

Годы	Протяженность (в тыс. км) электросетей напряжением					
	35 кВ	110 кВ	154 кВ	220 и 330 кВ	400 и 500 кВ	750 и 800 кВ
1940	8,0	10,6	0,5	1,1	—	—
1950	11,8	16,5	0,5	2,5	—	—
1960	36,7	64,6	2,0	16,7	4,4	—
1965	122,3	128,1	5,1	42,5	8,3	0,5
1970	175,7	185,8	5,8	64,4	13,2	0,6
1974	227,3	232,1	7,4	83,6	18,4	1,3

Линии электропередачи напряжением 750 кВ по сравнению с линиями напряжением 500 кВ позволяют увеличивать передаваемую мощность и дальность передач почти в 2,5 раза.

Строятся весьма мощные линии электропередачи на постоянном токе. В качестве примера можно привести данные о электропередаче постоянного тока Волжская ГЭС им. XXII съезда КПСС — Донбасс.

Напряжение линии, кВ	800
Протяженность, км	473
Передаваемая мощность, МВт	до 750
КПД линии, %	94

В десятой пятилетке в нашей стране будут строиться линии электропередач переменного тока напряжением 500, 750 и 1150 кВ. Рост напряжения непосредственно связан с необходимостью создания единой энергетической системы страны путем объединения энергосистем Сибири и Средней Азии с европейской энергетической системой.

Изучение этой темы желательно закончить просмотром кинофильма «Передача и использование электроэнергии».

После рассмотрения материала, изложенного в этом параграфе, учащиеся должны знать различные способы передачи электроэнергии.

§ 9. РАДИОПЕРЕДАТЧИК И РАДИОПРИЕМНИК

Вопросы радиопередачи и радиоприема являются одними из наиболее важных технических вопросов курса физики X класса. Усвоение их непосредственно связано с пониманием учащимися физических вопросов: модуляции и демодуляции сигналов с использованием триода.

В радиотехнике разработано множество приемов для осуществления модуляции колебаний. Один из самых простых способов (в то же время и самый распространенный) — модуляция за счет подачи переменного напряжения на сетку генераторной лампы (так называемая модуляция на сетку).

Амплитудную модуляцию можно продемонстрировать при помощи схемы (Д. Э., т. 2, опыт 118), включающей электронный осциллограф, звуковой генератор, микрофон и камертон. После удара молоточка по камертону наблюдают на экране осциллограмму амплитудно-модулированного сигнала.

Далее следует разобрать простейшую схему радиотелефонного передатчика (рис. 98). Часть схемы — знакомый учащимся ламповый генератор. Модулирующее напряжение возникает в цепи микрофона и усиливается трансформатором.

Учащиеся должны понимать, что сеточный конденсатор C_c представляет малое сопротивление для переменных токов высокой частоты генератора, а вторичная обмотка трансформатора вследствие ее индуктивности—большое сопротивление. Поэтому токи высокой частоты не ответвляются в микрофонную цепь, и генератор практически работает так же, как и в отсутствие модулирующей цепи. Для микрофонных же токов низкой частоты конденсатор C_c обладает большим сопротивлением, и поэтому напряжение трансформатора ока-

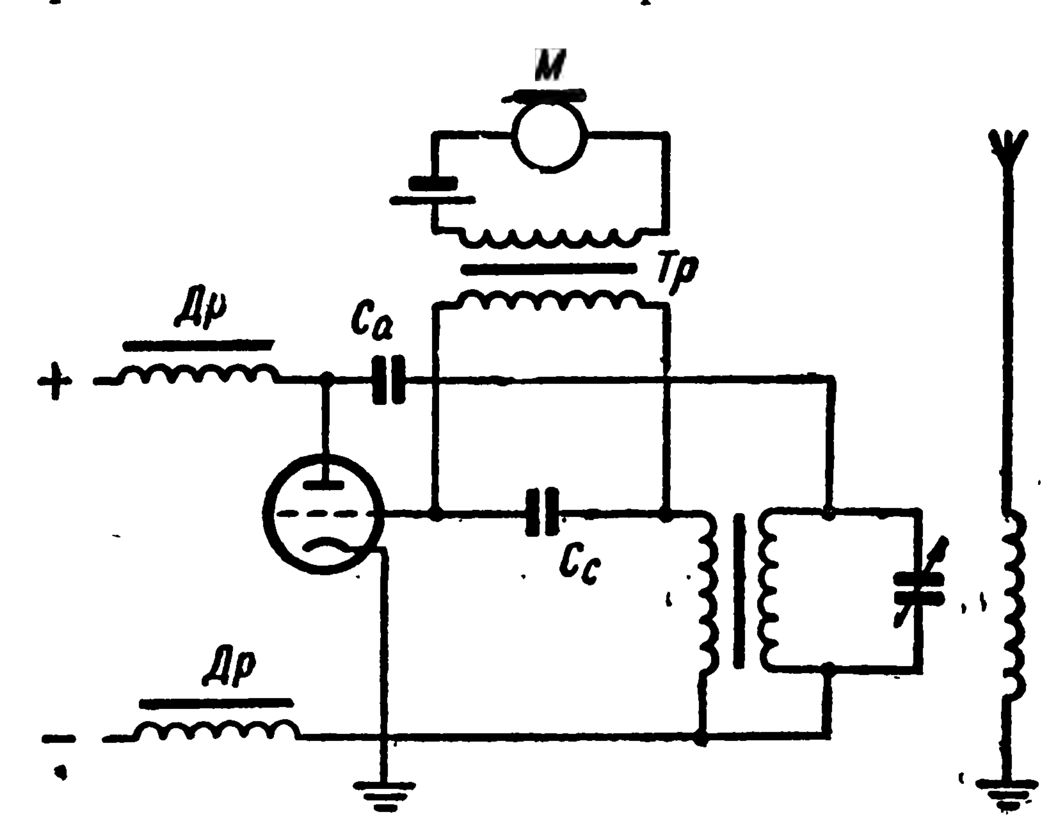


Рис. 98. Схема простейшего радиопередатчика:

Др — входной дроссель; C_a — анодный конденсатор; C_c — сеточный конденсатор; *М* — микрофон; *Тр* — трансформатор.

зывается целиком приложенным между сеткой и катодом лампы.

Демодуляция колебаний. Радиоприемник. Под действием электромагнитной волны передатчика в антенне приемника возникают модулированные токи высокой частоты, тождественные с токами в антенне передатчика, но только более слабые. Учащимся следует объяснить, что эти токи непригодны для непосредственного получения сигнала. Если при радиотелефонной передаче их направить даже после предварительного усиления в громкоговоритель, то не будет слышно никакого звука. Это происходит, во-первых, потому, что телефонная мембрана обладает большой инерционностью и поэтому не может совершать такие быстрые колебания с заметной амплитудой. Во-вторых, если и воспользоваться малоинерционным телефоном, то получатся колебания с радиотехнической частотой (10^5—10^8 Гц), которую не воспринимает ухо.

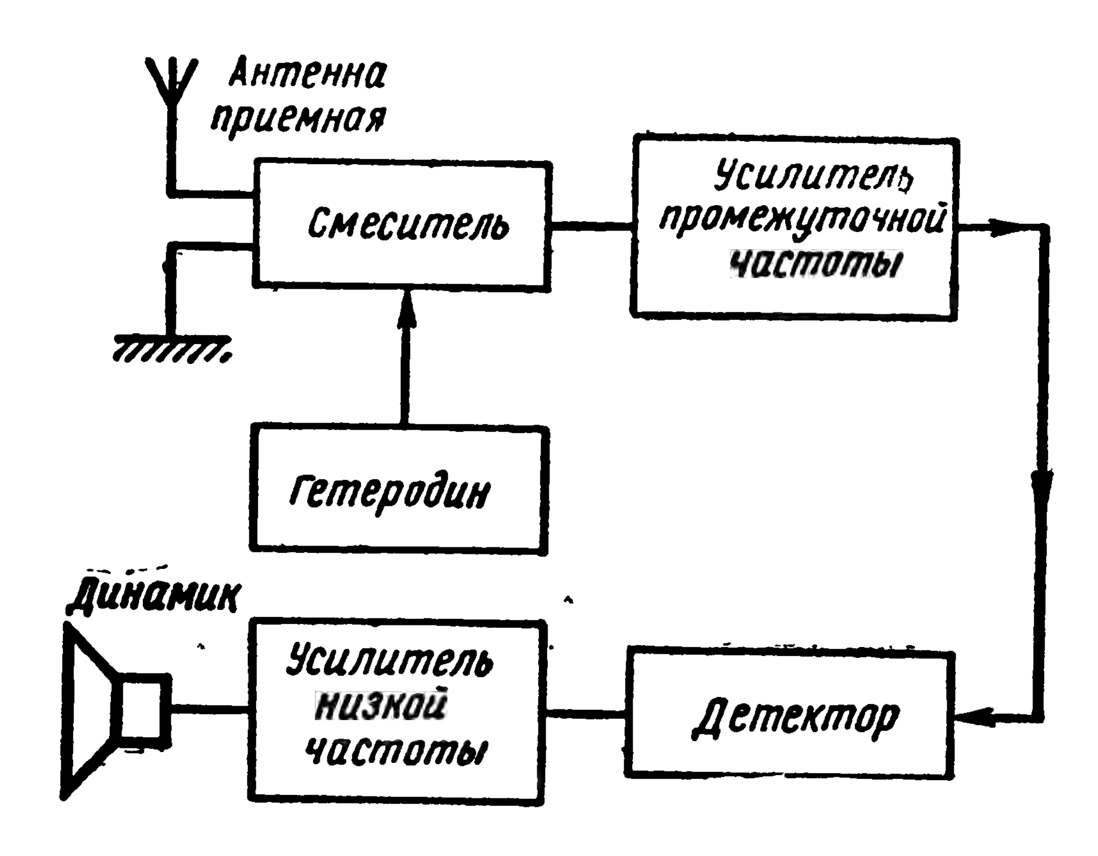


Рис. 99. Блок-схема супергетеродинного приемника.

Поэтому высокочастотные колебания в приемнике снова превращают в колебания низкой частоты, соответствующей сигналу. Это демодуляция колебаний (или детектирование).

Прием радиосигналов на детекторный приемник, а также осциллограммы сигнала на входе и выходе приемника желательно показать (Д. Э., т. 2, опыт 120).

Важно, чтобы учащиеся усвоили, что приемник прямого усиления имеет тот недостаток, что при очень высоких частотах (коротких волнах) не позволяет получать большое усиление сигнала.

От указанного недостатка в значительной степени свободен супергетеродинный приемник, в настоящее время наиболее распространенный (рис. 99). Этот приемник обладает высокой чувствительностью и избирательностью. Принцип работы супергетеродинного приемника связан с преобразованием частоты принимаемых станций в промежуточную частоту, колебания которой усиливаются. Гетеродин генерирует электрические колебания с частотой более низкой, чем частота станции, которую принимает приемник.

Колебания со входного контура и гетеродина поступают на смеситель, на выходе которого частота постоянна. Этим и оп-

ределяется одно из основных преимуществ супергетеродинного приемника: контуры всех усилителей, следующих по схеме за смесителем, могут быть настроены на одну частоту. Затем сигнал поступает на усилитель промежуточной частоты и после детектирования на усилитель низкой частоты. Как правило, усилитель низкой частоты имеет несколько каскадов. Динамик присоединен к последнему каскаду.

В заключение изложения вопросов радиопередачи и радиоприема можно показать кинофильм «Физические основы радиопередачи» или диафильм «Физические основы радио».

После рассмотрения материала, изложенного в этом параграфе, у учащихся формируются представления об основных принципах радиопередачи и радиоприема

§ 10. ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Изложение вопросов, связанных с телевидением, необходимо начать с некоторых основополагающих принципов. Передача изображения на расстояние осуществляется следующим образом:

1. Передаваемое изображение условно разбивается на ряд мелких участков — квадратов. С уменьшением размеров этих участков глаз перестает различать изменение яркости внутри них. Такой участок изображения называют элементом изображения. Размер элемента изображения зависит от расстояния между глазом наблюдателя и изображением.

2. Световая энергия каждого участка изображения преобразуется в электрический импульс, амплитуда напряжения которого пропорциональна световому потоку, падающему на данный участок изображения. Так как световая энергия каждого участка преобразуется в электрический сигнал в строго определенной последовательности — слева направо строки и сверху вниз по строкам, то на выходе преобразующего устройства возникает видеосигнал — последовательность электрических импульсов, соответствующих передаваемому изображению.

3. Полученным сигналом изображения модулируются высокочастотные колебания, которые затем излучаются в пространство.

4. Принятые телевизионным приемником модулированные колебания усиливаются и детектируются. На выходе приемника выделяется видеосигнал, который затем подается на устройство, преобразующее электрические импульсы в участки видимого изображения.

Учащихся следует ознакомить с блок-схемой телевизионного тракта (рис. 100). При этом полезно воспользоваться таблицами «Телевидение — схема преобразования оптического изображения в электрический сигнал» и «Телевидение — схема преобразования электрических импульсов в оптическое изображение».

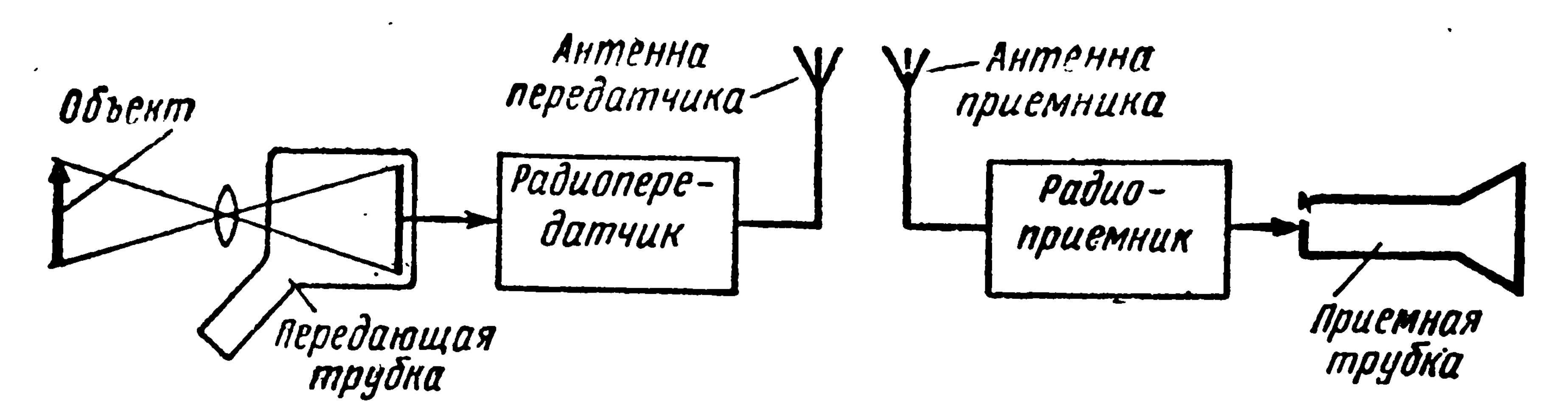


Рис. 100. Блок-схема телевизионного тракта.

Используя эти таблицы, можно объяснить, что с помощью объектива на чувствительной поверхности передающей трубки создается оптическое изображение передаваемого объекта. В трубке это изображение преобразуется в последовательность электрических импульсов напряжения, которые после усиления поступают на модулятор радиопередатчика. В телевизионном приемнике из модулированных колебаний выделяется видеосигнал, который с помощью приемной трубки преобразуется в оптическое изображение.

Передающие телевизионные трубки. Передающие телевизионные трубки служат для преобразования оптических изображений в видеосигналы. Для телевизионного вещания в зависимости от назначения и условий работы в основном используются такие передающие трубки, как супериконоскоп, суперортикон и видикон. Ко всем передающим трубкам предъявляются следующие требования:

а) высокая чувствительность — получение достаточно большой амплитуды видеосигнала на выходе трубки при малой освещенности объекта передачи;

б) высокая разрешающая способность;

в) способность работы в широком диапазоне яркостей и правильность воспроизведения всех световых оттенков передаваемого изображения;

г) малая инерционность.

Видикон. В видиконе используется внутренний фотоэффект. Передаваемое изображение проецируется на светочувствительную мишень *1* (рис. 101), которая состоит из полупрозрачного слоя металла, называемого сигнальной пластиной, и фоторезистора, нанесенного на сигнальную пластину. Толщина слоя фотопроводника 1—2 мкм. Сигнальная пластина с помощью металлического кольца соединена с нагрузочным сопротивлением. Электронный луч формируется прожектором *2*, состоящим из катода, управляющего электрода и первого анода. Вдоль трубки расположен длинный металлический цилиндр — второй анод *3*. На трубку надевается отклоняющая система *4* и длинная катушка переноса, создающая продольное магнитное поле. Наиболее эффективной является работа трубки при развертке мед-

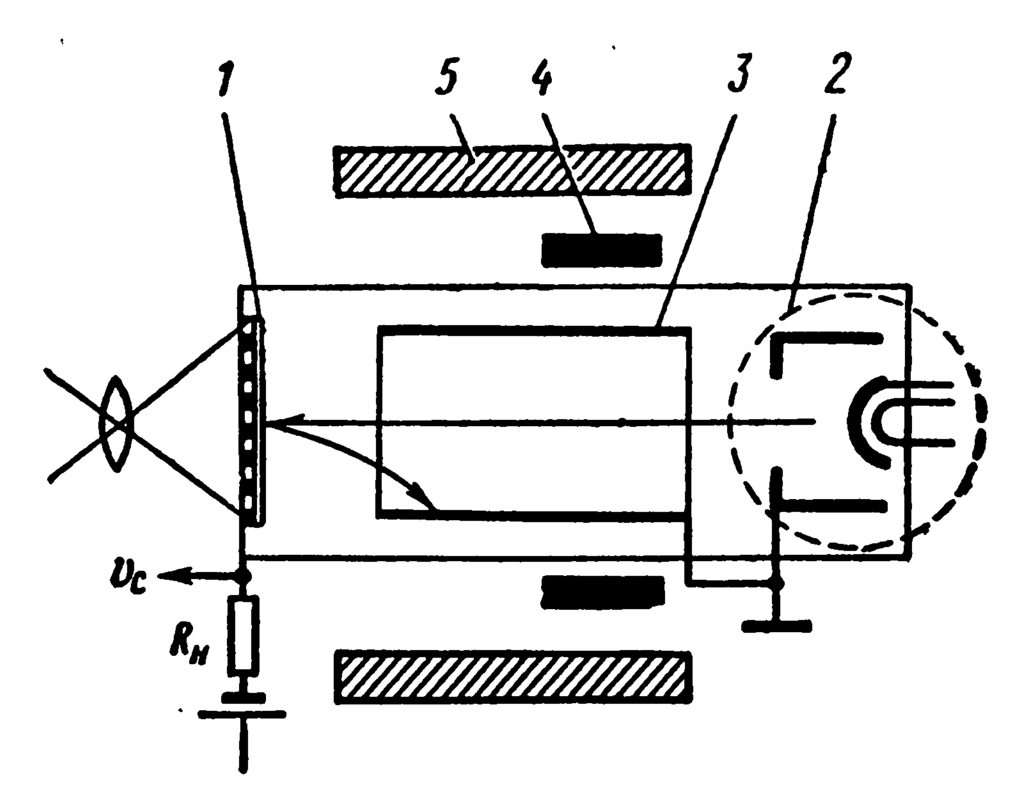


Рис. 101. Устройство передающей телевизионной трубки — видикона:

1 — мишень; *2* — электронный прожектор; *3* — второй анод; *4* — отклоняющая система; *5* — катушка переноса.

ленным лучом, поэтому следует рассмотреть этот режим.

Если на мишень передаваемое изображение не проецируется, то сопротивление светочувствительного слоя одинаково во всех участках и за счет обегания мишени электронным лучом с малой энергией на внутренней поверхности фотопроводника создается постоянный потенциал, близкий к потенциалу катода.

Если же на мишень проецируется изображение, проводимость различно освещенных участков мишени становится неодинаковой и на поверхности фотокатода, обращенной в сторону электронного луча, образуется потенциальный рельеф.

Электронный луч при развертке доводит поверхность всех участков мишени до одинакового потенциала, но при этом через освещенные участки с малой проводимостью протекает большее число электронов, чем через затемненные участки с большой проводимостью. В результате через нагрузочное сопротивление протекает ток, пропорциональный освещенности отдельных участков фоторезистора.

Видикон обладает большой чувствительностью, что позволяет делать мишени и, следовательно, передающие трубки малых размеров.

Видикон применяется главным образом в промышленном телевидении; в телевизионном вещании его применение ограничено из-за инерционности.

Цветное телевидение. Получение цветного изображения основано на принципе смешения трех основных цветов: красного, синего и зеленого. В сетчатке человеческого глаза имеются три обособленные группы нервных волокон, возбуждение одной из которых создает ощущение насыщенного синего цвета, другой — красного и третьей — зеленого. Световые лучи, падающие от наблюдаемого предмета на сетчатку, воздействуют на все три группы нервных волокон, вызывая впечатление цветного изображения.

При передаче цветного изображения осуществляются следующие преобразования:

а) разложение изображения на три основных цвета: красный, зеленый и синий;

б) преобразование трехцветовых сигналов в электрические сигналы изображения;

в) передача электрических сигналов в приемник и преобразование их в приемнике в оптические изображения красного, зеленого и синего цветов;

г) смешение всех трех цветовых изображений в одно многоцветное изображение.

Различают поочередные и одновременные системы передач цветного телевидения. При поочередной системе все три цветовых сигнала передаются последовательно по одному и тому же каналу связи. При одновременной системе все три цветовых сигнала каждого элемента передаются одновременно по разным каналам связи.

В настоящее время в СССР применяются трехцветные приемные трубки с точечным экраном и теневой маской. В трехцветном кинескопе экран покрыт зернами трех сортов люминофоров, светящихся под действием падающих на них электронов красным, зеленым и синим цветом. Каждый сорт люминофора возбуждается отдельным электронным лучом, несущим информацию о соответствующем цвете. Чтобы каждый луч попадал только на «свои» зерна люминофора, используется маска с отверстиями, помещаемая на пути электронных лучей перед экраном. Маска называется теневой потому, что она создает для луча данного цвета тень на «чужих» зернах люминофора. Это достигается соответствующей технологией изготовления маски и экрана.

Блок-схема получения цветного изображения показана на рисунке 102.

Многие вопросы передачи и приема телевизионного изображения рассмотрены в учебном кинофильме «Телевидение» и диафильме «Физические основы телевидения», которые следует показать учащимся.

Технологическое телевидение. Желательно, чтобы ученики усвоили, что технологическое использование телевидения наиболее выгодно в таких местах и таких условиях, где работа наблюдателя или оператора либо весьма опасна, либо просто невозможна. Например, телевидение применяется для контроля за непрерывной разливкой стали. Промышленные телевизионные уста-

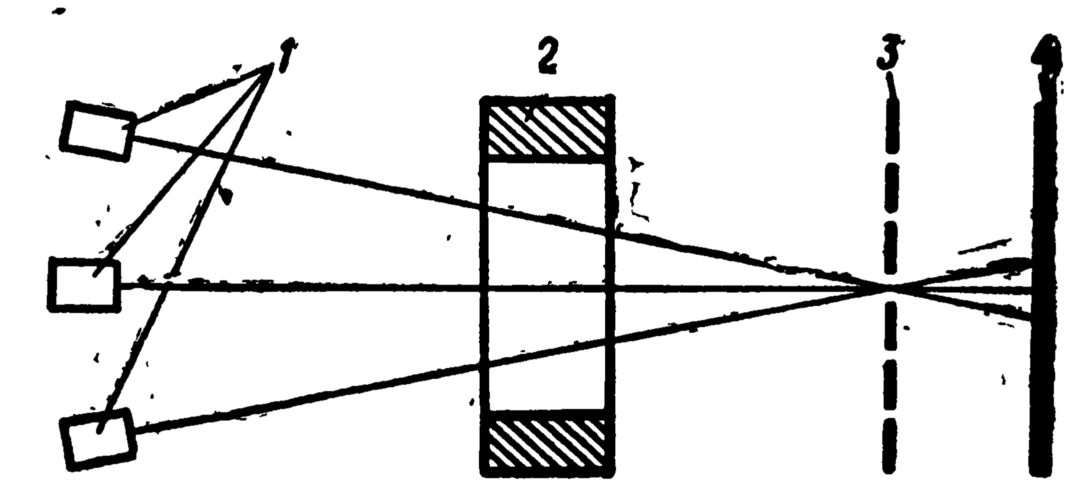


Рис. 102. Блок-схема получения цветного изображения:

1 — прожекторы; 2 — отклоняющая система; 3 — маска; 4 — экран.

новки используют также для управления процессом сгорания в топках, при этом о процессе сгорания судят по виду пламени форсунок и дыма из труб.

Подводное телевидение применяется для осмотра подводных частей корабля, портовых сооружений, шлюзовых механизмов на каналах и гидроэлектростанциях, для изучения флоры и фауны морского и океанского дна. Подземное телевидение необычайно полезно при бурении скважин; оно применяется при изучении разведываемых геологических пород; для определения мощности, глубины и чередования залегания пластов в земных недрах.

В результате ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны знать устройство передающей телевизионной трубки и блок-схему телевизионной связи.

§ 11. РАДИОЛОКАЦИЯ

Радиолокацией называют обнаружение и определение местоположения (координат) объектов на расстоянии с помощью радиоволн. Аппаратура, обеспечивающая обнаружение и определение координат объектов, называется радиолокационной станцией (РЛС).

В радиолокации применяют РЛС с непрерывным и импульсным излучением энергии.

Импульсный метод радиолокации. При импульсном методе радиолокации передатчик РЛС излучает колебания высокой частоты в виде кратковременных, периодически повторяющихся импульсов. Эти импульсы называют зондирующими. Длительность импульса τ обычно много меньше периода повторения T (рис. 103). В промежутке времени между зондирующими импульсами происходит прием отраженных сигналов. Определение дальности в этом случае сводится к измерению интервала времени t между моментом излучения зондирующего импульса РЛС и моментом прихода отраженного от объекта импульса. Наклонная дальность определяется по времени t и скорости распространения электромагнитных волн c по формуле

$$D = \frac{ct}{2}.$$

На рисунке 104 показана блок-схема импульсного радиолокатора. С помощью синхронизатора *С* происходит координация работы всех узлов РЛС. Синхронизатор вырабатывает пусковые импульсы с определенным периодом повторения *T*. Эти импульсы одновременно запускают передатчик и генератор развертки, который находится в индикаторе *И*. Передатчик импульсной РЛС предназначен для выработки зондирующих импульсов. Он обычно состоит из модулятора *М* и генератора сверхвысокой частоты (ГСВЧ). Импульс синхронизатора запускает модулятор, который создает мощные модулирующие видеоимпульсы.

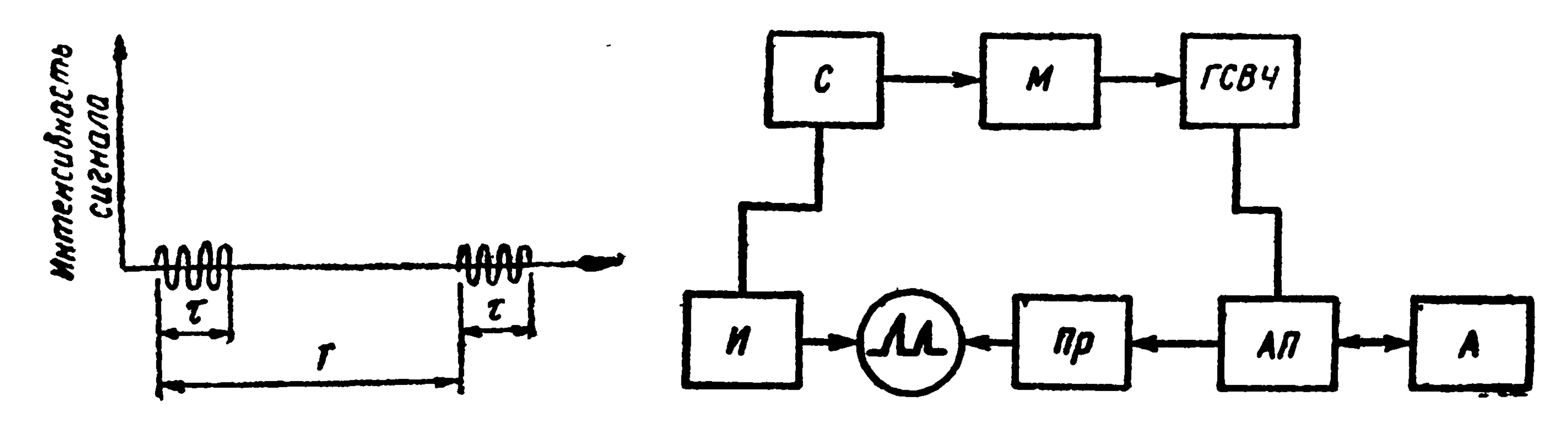


Рис. 103. Сравнение длительности импульса радиолокатора (τ) и периода повторения (T).

Рис. 104. Блок-схема импульсного радиолокатора.

Этими импульсами модулируются высокочастотные колебания, вырабатываемые ГСВЧ. Полученные радиоимпульсы через антенный переключатель *АП* поступают в антенну *А* и излучаются в пространство. Чувствительность современных радиолокаторов ограничивается уровнем собственных шумов и достигает 10^{-12}—10^{-15} Вт.

Минимальная дальность действия станции равна:

$$D_{\text{мин}} = \frac{c\tau}{2}.$$

Если направление на цели отличается на угол, меньший, чем ширина диаграммы направленности антенны α, то они будут видны как одна цель (рис. 105). Если же, наоборот, угол больше ширины, то одна цель будет видна, а другая (или другие) не видны. Следовательно, целесообразнее использовать радиолокаторы с узкой диаграммой направленности.

В радиолокации используются метровые, дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны, что соответствует диапазону частот 60—300 000 МГц.

Учащихся обычно интересует, почему для радиолокации применяют ультракороткие волны (УКВ). Нужно объяснить, что УКВ применяют в радиолокации в связи с тем, что в системах с пассивным ответом (только отражают радиосигнал) мощность отраженного сигнала слабо зависит от длины волны λ, если λ меньше геометрических размеров предмета. Многие же размеры не превышают единиц и десятков метров. Кроме того, направленность излучения тем выше, чем меньше λ по сравнению с геометрическим размером антенны.

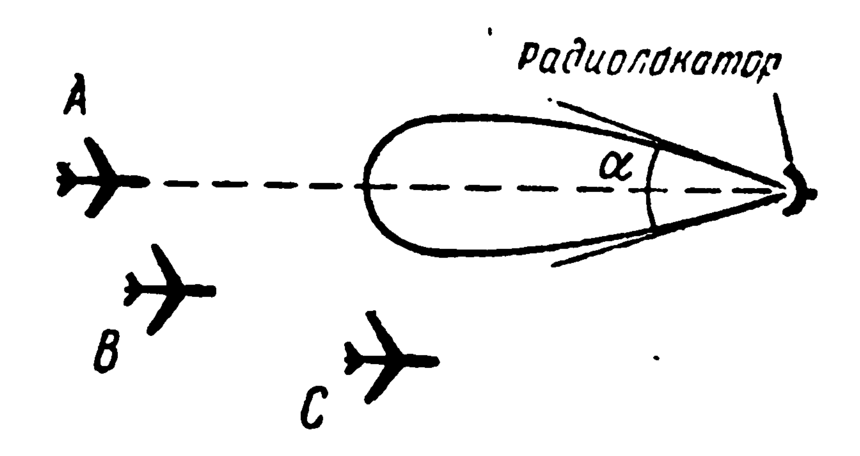


Рис. 105. Диаграмма направленности излучения антенны радиолокатора (цели *А* и *Б* видны на экране, цель *С* не видна).

Говоря о применении радиолокации, необходимо прежде всего остановиться на широком использовании радиолокаторов в военной технике для обнаружения самолетов. Здесь можно использовать многочисленные примеры из опыта Великой Отечественной войны. В частности, желательно рассказать о том, что для введения в заблуждение радиолокационных станций врага в советской авиации широко применялись ложные отражатели и металлизированная бумага. Отражатели, расположенные на земле, создавали ложные цели, а металлизированная бумага создавала сильные помехи радиолокационным станциям врага. Современные радиолокаторы способны отыскать цель — ракету или самолет — на расстояниях до 900 км, столь высокая дальность обусловлена многочисленными отражениями сигнала от ионосферы.

После рассмотрения материала, изложенного в этом параграфе, учащиеся должны усвоить основные принципы радиолокации.

§ 12. РАЗВИТИЕ СВЯЗИ В СССР

В курсе физики учащихся знакомят с принципами действия телефона, телеграфа, радиоприемников и радиопередатчиков, радиолокаторов, телевизоров. Завершением изучения этой важной в техническом отношении темы является обобщение всех этих знаний, показ основных направлений развития средств связи.

Учащимся следует сообщить, что в ближайшее десятилетие будет создана единая автоматизированная система связи (ЕАСС), по которой будет осуществляться передача всех потоков информации. В эту систему предполагается включение систем связи между электронно-вычислительными машинами, расположенными в разных районах страны. По каналам скоростной телеграфной связи, которые соединят многие промышленные предприятия с центрами управления и образуют систему связи между электронно-вычислительными центрами страны, будет передаваться мощный поток данных, т. е. информация в закодированном виде.

В настоящее время начата разработка электронных АТС с бесконтактной системой коммутации на полупроводниках и магнитных элементах.

Электронные элементы обладают рядом важных преимуществ перед механическими: быстродействием, отсутствием движущихся частей, большим сроком службы, малыми размерами, что очень важно для систем связи.

Получит развитие междугородная связь, опирающаяся на строительство кабельных и радиорелейных линий.

Нужно отметить, что дальнейшее развитие получит космическая радиосвязь, причем в ближайшие годы будут построены

приемные центры в городах, в которых обеспечить прием передач центрального телевидения другими средствами трудно

Создание ЕАСС предполагает самую широкую автоматизацию всех процессов связи. Необходимость автоматизации определяется многими причинами, в частности о необходимости автоматизации при создании ЕАСС можно судить хотя бы по тому, что для обслуживания этой системы связи без автоматизации требовалось бы 2 млн. человек.

Учащиеся должны понять важнейшие задачи развития средств связи в СССР, которые могут быть сформулированы так:

1) дальнейшее расширение и правильное географическое размещение средств связи на территории страны;

2) повышение скорости сообщений;

3) увеличение мощности радиовещательных станций;

4) расширение каналов связи;

5) развитие космического телевидения;

6) создание единой автоматизированной системы связи (ЕАСС).

ЛИТЕРАТУРА

Глазунов А. Т. Изучение вопросов производства, передачи и использования электроэнергии. — «Физика в школе», 1976, № 1.

Гусятинский И. А., Пирогов А. А. Радиосвязь и радиовещание. М., «Связь», 1974.

Клингер Г. Сверхвысокие частоты. Основы и применение техники СВЧ. М., «Наука», 1969.

Коган И. М. Ближняя радиолокация. М., «Советское радио», 1973.

Мельник Ю. А., Стогов Г. В. Основы радиотехники и радиотехнические устройства. М., «Советское радио», 1973.

ГЛАВА V

ОПТИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

При изучении оптики в X классе возможно органически включить в курс ряд важных вопросов техники (см. табл. 10).

Таблица 10

Раздел курса физики	Раздел техники	Конкретный технический материал
Оптика	Оптическая техника и квантовая электроника	Фотоаппарат Технические применения спектроскопии Применение поляризованного света Инфракрасная техника Фотоэлементы; фотосопротивления Технические применения люминесценции Оптический квантовый генератор Голография

§ 1. ФОТОАППАРАТ

Изучение устройства фотоаппарата является частью рассмотрения оптических приборов в курсе физики X класса. Важно оно и с другой точки зрения: большинство старшеклассников умеют фотографировать, но далеко не все из них понимают устройство фотоаппарата и назначение основных его частей.

Фотографический метод регистрации изображения был изобретен почти полтора века назад (в 1839 г.) Дагером и Ньепсом.

В простейшем виде фотографический аппарат представляет собой замкнутую светонепроницаемую коробку с линзой.

Учащимся следует объяснить, как на фотопленке получается изображение предмета. Кристаллы галогенного серебра под действием света постепенно превращаются в мелкие крупицы металлического серебра. Процесс этот протекает медленно, и, для того чтобы кристаллы целиком превратились в зерна серебра, требуется много времени. В течение же тех коротких выдержек, которые имеют место во время съемок, свет, попадая на кристаллы, не успевает целиком превратить их в металлическое серебро. В кристаллах образуются лишь зародыши, состоящие из ничтожно малого количества серебра. Задача лабораторной обработки фотопленки заключается в проявлении и фиксаже, благодаря чему скрытое фотографическое изображение делается видимым и закрепляется.

Учащиеся должны получить представление об объективе как о важнейшей части фотоаппарата, дающей на пленке резкое и геометрически правильное изображение фотографируемых объектов по всему полю кадров. Даже самые простые современные объективы состоят из 2—3 линз, а более совершенные содержат до 7 линз.

Ученики не всегда знают, зачем в фотоаппаратах применяется сложная оптическая система, состоящая из нескольких линз, и почему нельзя применять объектив, состоящий из одной линзы. Поэтому нужно им объяснить, что хотя простая собирающая линза и дает изображение, но из-за свойственных ей многих оптических недостатков изображение получается плохим и нерезким по краям.

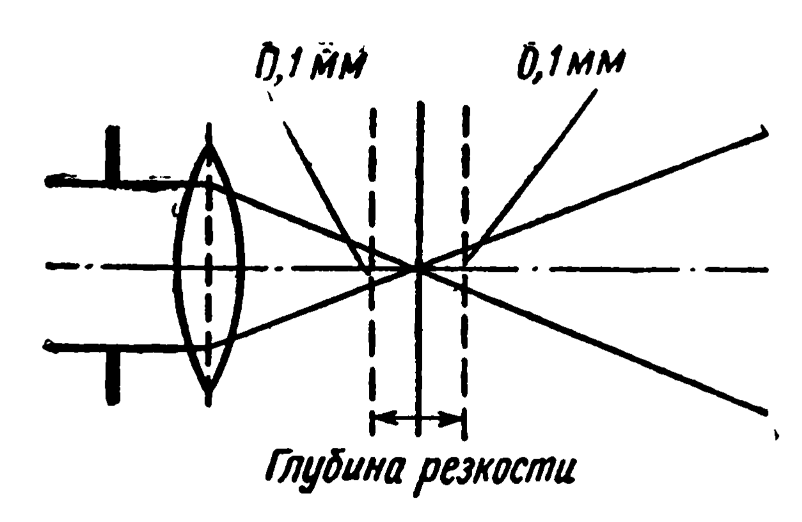
Учащиеся должны знать, что числа, находящиеся на оправе объектива (например, 1 : 3,5 и $F=5$ см), характеризуют объектив. Первое из них определяет светосилу объектива, второе — главное фокусное расстояние.

От главного фокусного расстояния F зависит масштаб получаемого изображения. (Масштабом изображения называют отношение размеров изображения к размерам изображаемого объекта.) Фокусное расстояние согласовано с форматом кадра. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем крупнее получится изображение предметов, находящихся на большом расстоянии от фотоаппарата.

Светосила — мера световых возможностей объектива: чем больше светосила, тем короче может быть выдержка при съемке.

Часто ученики считают, что светосила зависит только от размеров объектива, точнее, от диаметра его линз. Конечно, чем больше диаметр линз объектива, тем больше света он пропускает. Но это еще не все.

На оправах объективов светосила обозначается весьма условно, в виде отношения двух чисел, из которых первое всегда единица (например, 1 : 3,5). За единицу принят диаметр действующего отверстия объектива, т. е. отверстия, пропускающего



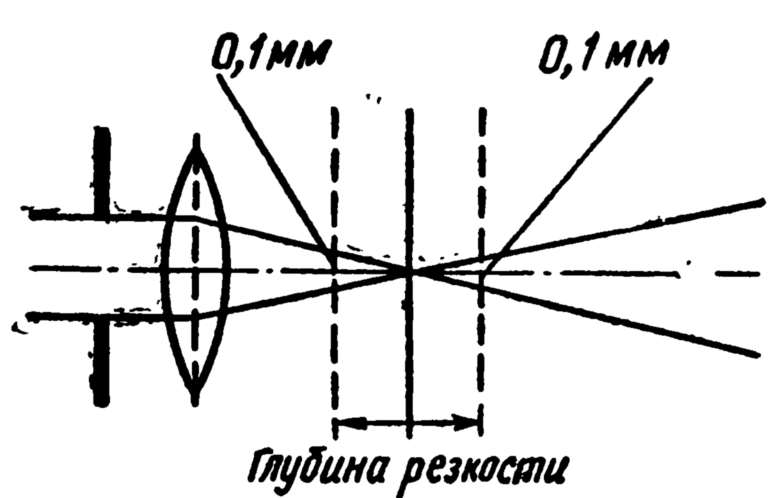


Рис. 106. При уменьшении отверстия диафрагмы увеличивается глубина резкости.

свет. Обычно это отверстие по размерам близко к величине передней линзы объектива. Правая часть отношения показывает, во сколько раз диаметр отверстия меньше фокусного расстояния объектива.

Если записать это выражение в виде дроби $\frac{1}{3{,}5}$, то станет понятно, что, чем меньше знаменатель дроби, тем относительное отверстие, а следовательно, и светосила объектива больше, так как больше сама дробь.

Полезно решить с учащимися такую задачу: «Сравнить, во сколько раз светосила объектива с относительным отверстием 1 : 2 больше, чем объектива с относительным отверстием 1 : 4». Решение приводит к выводу, что светосила оказывается больше не в 2 раза, а в 4, так как световой поток зависит от площади действующего отверстия объектива. Таким образом,

$$\text{светосила} = \frac{\text{квадрат диаметра действующего отверстия}}{\text{квадрат фокусного расстояния}}.$$

Важно, чтобы ученики усвоили, что нельзя путать два различных понятия — «светосилу» и «относительное отверстие».

Другим вопросом, вызывающим недоумение у учащихся, является вопрос о том, зачем нужна диафрагма в фотоаппарате. Ведь диафрагмирование объектива уменьшает его светосилу, что вызывает необходимость увеличивать выдержку при съемке. Это, безусловно, так, но ведь на пленке надо получать изображения предметов, находящихся на разных расстояниях от объектива.

Диафрагмируя объектив, увеличивают глубину резко изображаемого пространства, в этом и заключается основное назначение диафрагмы (рис. 106).

Полезно подчеркнуть, что глубина резкости изображения зависит также и от фокусного расстояния объектива. При прочих равных условиях она тем больше, чем меньше фокусное расстояние объектива.

После ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны понимать назначение объектива и диафрагмы фотоаппарата, знать некоторые характеристики фотоаппарата.

§ 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРОСКОПИИ

Современная оптическая спектроскопия, охватывающая диапазон электромагнитных волн от нескольких ангстрем до нескольких сантиметров, включает в себя три самостоятельных раздела: атомную спектроскопию, спектроскопию твердого тела и прикладную спектроскопию — спектральный анализ.

Спектральный анализ получил наибольшее распространение в металлургической промышленности, где он значительно потеснил химический анализ. На передовых металлургических заводах до 80% всех анализов производится спектральными методами и лишь незначительное количество химическим путем.

В настоящее время в технике различают два основных метода спектрального анализа: качественный и количественный.

Качественный спектральный анализ. При проведении качественного анализа необходимо дать полный анализ образца или же выяснить наличие в нем определенных элементов. Во всех случаях прежде всего получают спектр образца. Для этого в специально подобранных источниках света (дуге или искре) возбуждают свечение атомов исследуемого вещества. Полученное излучение разлагают спектральным прибором и спектр рассматривают или фотографируют. С помощью атласов или таблиц спектроскопист легко может определить, какому элементу принадлежит та или иная линия спектра. Наиболее полные атласы содержат до 100 000 линий различных элементов.

В качестве примера можно рассмотреть, как определяется качественный состав стального образца, основным компонентом которого является железо. Сначала зажигают дугу или искру между исследуемым образцом и электродом из железа. Получаемый спектр фотографируют. Затем на ту же пластинку фотографируют спектр, полученный от излучения между двумя железными электродами. Определяют, какие новые линии появились в спектре образца по сравнению со спектром чистого железа. Сравнивая оба спектра с атласами спектральных линий, определяют длину волны вновь появившейся линии и находят по таблице, какому элементу эта линия принадлежит.

Количественный спектральный анализ. В основе количественного спектрального анализа лежит использование зависимости между интенсивностью спектральных линий и концентрацией элементов в пробе. С увеличением концентрации элемента в пробе интенсивность его спектральных линий возрастает до определенного предела пропорционально концентрации. При количественном спектральном анализе необходимо получить спектр образца, определить в нем линии анализируемых элементов, измерить интенсивность этих линий и по этим данным определить концентрацию элементов пробы.

Учащимся следует объяснить, что количественный спектральный анализ основывается на определении не абсолютной, а

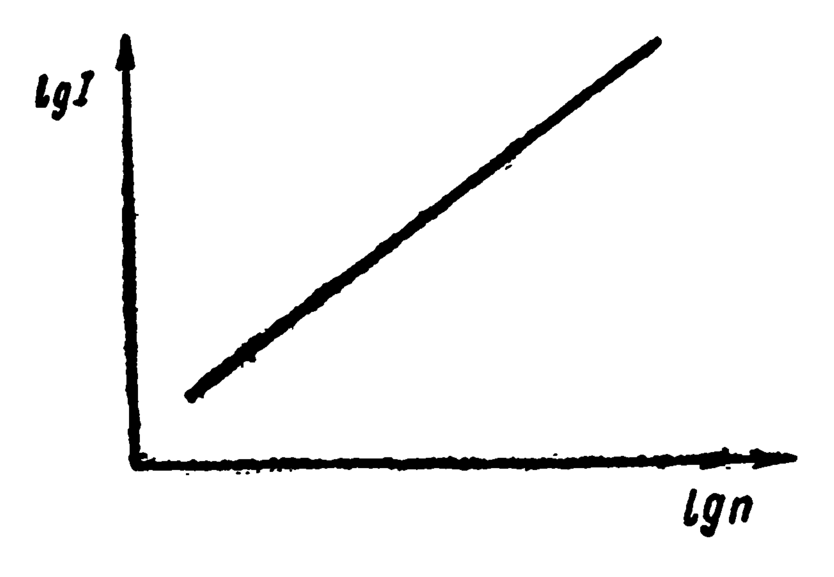


Рис. 107. Зависимость интенсивности излучения линии железа от его концентрации.

относительной интенсивности спектральных линий. В спектре исследуемого образца подбирают пару линий, одна из которых является линией определяемого элемента, а другая — линией сравнения. Линией сравнения может быть линия элемента, находящегося в образце примерно в постоянной концентрации и дающего линии постоянной интенсивности. После этого по имеющемуся графику зависимости интенсивности от концентрации (например, график для железа имеет вид, показанный на рис. 107) отмечают интенсивность, определяют логарифм концентрации, а затем и концентрацию. Спектроскопистам во многом помогают таблицы химических составов эталонов всех сплавов, в которых указывается концентрация различных химических элементов в эталонном образце.

В результате изучения материала этого параграфа учащиеся должны получить представления о качественном и количественном спектральном анализе.

§ 3. ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

С явлением поляризации света учащиеся знакомятся на основных занятиях, при этом желательно включить в изложение ряд вопросов технического применения поляризованного света. Например, можно рассказать, что пара линейных поляризаторов как средство регулировки интенсивности светового пучка имеет много преимуществ перед другими устройствами, в частности перед переменной диафрагмой. Пара поляризаторов позволяет изменять интенсивность очень плавно в огромных пределах (до 100 000 раз). Если парой поляроидов будут оборудованы окна железнодорожных вагонов, то, вращая внутренний поляроид относительно внешнего, пассажир может добиться любого изменения интенсивности света, не изменяя размеров окна.

Еще в 1920 г. была указана принципиальная возможность систем световой блокировки поляризационного типа. Чтобы осуществить световую блокировку в автомобилях, надо оборудовать каждый автомобиль двумя системами поляроидов. По одной схеме, простой, но далеко не оптимальной, на фары ставятся поляроиды с горизонтальной осью, а на ветровое стекло — с вертикальной. Другой способ состоит в том, чтобы все поляроиды ориентировать под углом 45°. Таким образом, оси поляроидов фар и ветрового стекла данного автомобиля параллельны,

а оси поляроидов фар встречного автомобиля с осями поляроидов ветрового стекла первого автомобиля будут скрещены.

Можно привести другой пример поляризационной светоблокировки: световое оборудование рабочего места оператора, который одновременно должен видеть, например, экран осциллографа и какие-нибудь таблицы, графики или картины. Свет ламп, освещающих таблицы, попадая на экран осциллографа, ухудшает контрастность изображения на экране. Можно избежать этого, оборудовав осветитель и экран поляроидами с взаимно перпендикулярной ориентацией.

Поляризаторы используются также на сборочных линиях и при проверке качества изделий для улучшения видимости мелких дефектов.

Весьма важным применением поляризованного света является метод фотоупругого анализа, основанный на свойстве изотропных тел становиться анизотропными под внешними механическими воздействиями. При одностороннем сжатии или растяжении направление деформации является выделенным и играет роль оптической оси. Возникающая анизотропия соответствует одноосному кристаллу.

Поляризационный метод определения деформаций в изделиях можно показать при помощи следующей установки (Д. Э., т. 2, опыт 139). Между поляроидами помещают модель рельса из органического стекла, вставленную в винтовой пресс. Вращением винта добиваются деформации модели. При скрещенных поляроидах демонстрируют на экране картину распределения напряжений в модели.

Этот метод находит широкое применение в строительном деле, при конструировании механизмов и машин, при изучении сопротивления материалов. При конструировании изготовляют модели исследуемых изделий из прозрачных материалов, а затем исследуют их оптическую анизотропию с тем, чтобы определить места наибольшего механического напряжения.

После рассмотрения вопросов волновой оптики важно, чтобы учащиеся усвоили, кроме теоретического материала, некоторые прикладные вопросы, в частности, использование поляризованного света.

§ 4. ИНФРАКРАСНАЯ ТЕХНИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Инфракрасные методы в промышленности. Прежде всего следует рассказать об использовании инфракрасных методов в авиации и ракетной технике.

Для скоростных самолетов и ракет весьма важно знать, как влияет аэродинамическое нагревание поверхностей на весь аппарат. Односторонний нагрев может вызвать опасный изгиб конструкции, искривление несущих поверхностей и отказ дви-

гателей. Для исследования этих явлений применяется система тепловых измерений в контрольных условиях, моделируемых с помощью нагревательных ламп инфракрасного излучения, которые располагаются вблизи нагреваемой поверхности и имитируют эффект аэродинамического нагрева. Поверхности нагреваются до температуры 1300—1400°C.

Методы инфракрасной техники широко используются для изучения реакций распада самолетных и ракетных топлив во время сгорания и для изучения продуктов сгорания.

Большая точность и скорость инфракрасного спектроскопического анализа по сравнению с обычными химическими анализами обусловила его применение в нефтяной промышленности. В химической промышленности инфракрасная техника используется для контроля непрерывных химических процессов, при этом в случае сложных химических реакций инфракрасные анализаторы позволяют одновременно автоматически определять компоненты химической смеси (до шести). С помощью инфракрасных методов также определяется октановое число бензина и контролируется состав смазочных масел.

В самых различных отраслях промышленности находит применение инфракрасная сушка изделий, качество которой по сравнению с другим методом — сушкой горячим воздухом — более высокое. При сушке горячим воздухом вначале засыхает верхний слой краски, и этот засохший слой мешает удалению растворителя, который содержится в любой краске. Инфракрасные лучи глубоко проникают внутрь краски, что значительно увеличивает скорость удаления растворителя и сокращает сроки сушки в несколько раз. Использование этого метода в автомобильной промышленности дает огромный экономический эффект.

Инфракрасная техника широко применяется в военном деле. Начало этому было положено в годы второй мировой войны, когда были разработаны методы инфракрасной пеленгации морских объектов и самолетов. Инфракрасная пеленгация основана на том, что любое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, служит источником инфракрасного излучения. Поэтому большинство военных объектов (особенно устройства с тепловыми двигателями) — мощные источники инфракрасного излучения. Инфракрасные методы пеленгации имеют серьезное преимущество по сравнению с радиолокацией по точности локации: с их помощью, например, различают раздельно два мотора самолета, что не под силу радиолокатору. Использование инфракрасных лучей позволяет обнаружить реактивные самолеты, стартующие ракеты (если наблюдение ведется со спутников).

Метод инфракрасной фотографии дает возможность вести съемку с самолетов через значительную толщу атмосферы и, кроме того, различать на фотоснимках объекты, обладающие различной отражательной способностью в инфракрасной части спектра.

Инфракрасные методы в сельском хозяйстве. Методы инфракрасной техники применяются для определения питательной способности почвенного покрова, который подвергают анализу на предмет обнаружения недостающих минералов. Своевременное выяснение того, каких питательных веществ в почве и растениях не хватает, позволяет принять необходимые агротехнические меры. Кроме того, при помощи регистрирующих инфракрасных спектрометров можно производить анализ удобрений, органических фосфатов, ядохимикатов.

Инфракрасные лучи, как показали исследования, могут быть полезны в птицеводстве и животноводстве. Например, цыплята, облученные инфракрасными лампами, быстрее увеличивают свой вес, а также повышается их невосприимчивость к заболеваниям.

Некоторые применения инфракрасного излучения можно объяснить при демонстрации диапозитива «Применение инфракрасных лучей».

Таким образом, важно, чтобы учащиеся усвоили некоторые технические использования инфракрасного излучения.

§ 5. ФОТОЭЛЕМЕНТЫ И ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Фотоэлементы. При разборе принципа действия фотоэлемента нужно указать, что изобретение фотоэлемента прямо связано с открытием А. Г. Столетовым явления фотоэффекта. Опыты А. Г. Столетова привели не только к рождению квантовой оптики, но и явились основой для фотоэлектронной техники. Кроме того, нужно отметить, что и в фотоэлементах и в фотосопротивлениях используется фотоэффект, только в фотоэлементах — внешний фотоэффект, а в фотосопротивлениях — внутренний.

Устройство фотоэлементов целесообразно объяснять по таблице «Фотоэлементы».

Учащихся следует ознакомить с основной характеристикой фотоэлементов — чувствительностью, которая определяется отношением силы фототока к световому потоку, вызывающему фотоэффект. Так как во внешних вакуумных фотоэлементах сила фототока очень мала, то ее обычно измеряют в микроамперах. Поэтому единицей чувствительности фотоэлемента служит 1 мкА/лм.

Интегральная чувствительность — общая чувствительность по отношению ко всем лучам, действующим на фотокатод. У совершенно чистых металлических поверхностей интегральная чувствительность очень мала — порядка десятых и даже сотых долей микроампера на люмен.

Повышение чувствительности фотоэлемента достигается тем, что после соответствующей обработки фотокатода «красная граница» фотоэффекта передвигается в сторону более длинных

волн (в красную и инфракрасную область). Так как у большинства чистых металлов (кроме цезия и рубидия) селективный максимум лежит в фиолетовой и ультрафиолетовой части спектра, то передвижение селективного максимума в сторону более длинных волн вызывает повышение интегральной чувствительности.

Наивысший предел чувствительности для элементов с внешним фотоэффектом — 200 мкА/лм.

Так как чувствительность вакуумных фотоэлементов очень мала, то фототоки, непосредственно получаемые от такого элемента, имеют ничтожную величину и без дальнейшего усиления не могут быть применены.

У газонаполненных фотоэлементов фототок в 20—25 раз больше, чем у вакуумных. Однако газонаполненные фотоэлементы имеют большую инерционность, которая начинает проявляться при частоте 1000 Гц. При частоте 50 000 Гц газонаполненный фотоэлемент теряет все свои преимущества по сравнению с вакуумными фотоэлементами.

Кроме того, газонаполненный фотоэлемент имеет криволинейную зависимость между фототоком и световым потоком. Это также существенный недостаток газонаполненных фотоэлементов, так как одно из важных применений фотоэффекта — преобразование световых модуляций в прямо пропорциональные им модуляции фототока.

Работу фотореле с газонаполненным фотоэлементом можно показать при помощи следующей установки (Д. Э., т. 2, опыт 171). Лампу накаливания включают в исполнительную цепь электромагнитного реле через нормально разомкнутые контакты, при этом фотореле питается от выпрямителя ВУП-1, а лампа питается от осветительной сети. На лампу надевают защитный колпачок с небольшим окошком, чтобы фон освещения в классе не мешал проведению демонстрации. При неосвещенном фотоэлементе лампа накаливания не горит. Если же его осветить пучком света от карманного фонаря, то электромагнитное реле срабатывает и лампа загорается.

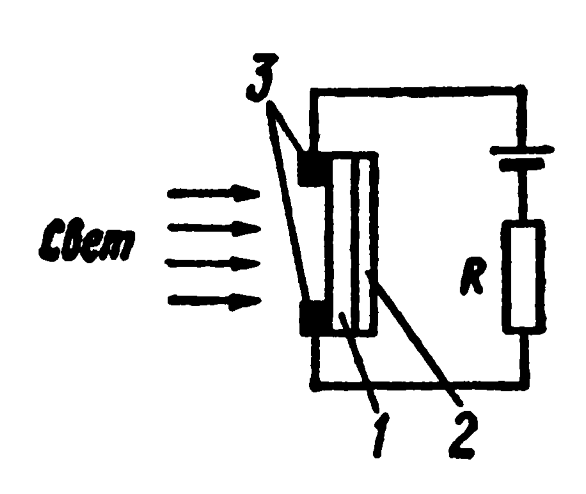


Рис. 108. Устройство фотосопротивления:
1 — полупроводник; 2 — диэлектрическая подложка; 3 — металлические электроды.

Помочь учителю при объяснении этого материала может учебный кинофильм «Фотоэлементы и их применение», а также диафильм того же названия.

Фотосопротивления. Фотосопротивлениями называют фотоэлектрические приборы, в которых используется свойство полупроводников увеличивать проводимость под действием света.

Для изготовления фотосопротивлений используют полупроводники из сернистых соединений свинца, висмута, кадмия или галия.

Устройство фотосопротивления показано на рисунке 108. Конструктивно фотосопротивления состоят из тонкого светочувствительного слоя — полупроводника *1*, нанесенного на диэлектрическую подложку *2*. Обычно полупроводник наносится методом испарения в вакууме. Металлические электроды *3* располагаются по краям фотосопротивления и служат для подключения фотосопротивления в электрическую цепь.

Если фотосопротивление не освещено, то через него протекает темновой ток:

$$I_т = \frac{\mathcal{E}}{R_т + R_н},$$

где $\mathcal{E}$ — ЭДС источника;

$R_т$ — темновое сопротивление фотосопротивления;

$R_н$ — сопротивление нагрузки.

При освещении фотосопротивления электроны переходят в свободное состояние, сопротивление становится меньше, ток в цепи увеличивается до светового тока фотосопротивления:

$$I_с = \frac{\mathcal{E}}{R_с + R_н},$$

где $R_с$ — световое сопротивление фотосопротивления.

Фототоком называют разность между световым и темновым токами:

$$I = I_с - I_т.$$

Все полупроводники фоточувствительны, т. е. их проводимость увеличивается при действии излучения с малой длиной волны (с большой частотой). Сопротивление фотопроводников уменьшается с ростом освещенности. Зависимость фототока от освещенности (рис. 109) является одной из главных характеристик любого фотосопротивления.

Другая характеристика фотосопротивления — зависимость фототока от приложенного напряжения при постоянной освещенности. Для подавляющего большинства фотосопротивлений эта характеристика линейна (рис. 110).

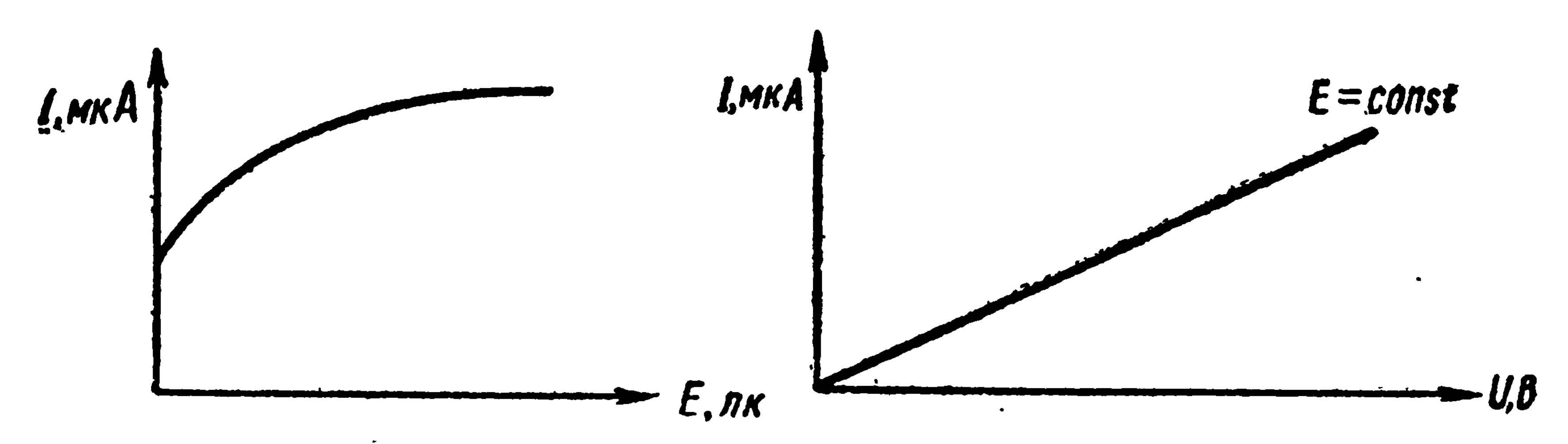


Рис. 109. Зависимость фототока от освещенности.

Рис. 110. Зависимость фототока от напряжения при постоянной освещенности.

Главным параметром, характеризующим фотосопротивление, является его удельная чувствительность K, которая определяется фототоком (в микроамперах), даваемым фотосопротивлением при освещении его световым потоком в 1 лм при разности потенциалов на зажимах фотосопротивления 1 В:

$$K = \frac{I}{\Phi U}.$$

Фотосопротивления отличаются простотой конструкции, малыми габаритами и весом, высокой надежностью, широкой спектральной чувствительностью, практически неограниченным сроком службы. Все это определило использование фотосопротивлений в схемах автоматики, фотометрии, спектроскопии, дальномеров.

Определенный недостаток многих фотосопротивлений — резкая зависимость их чувствительности от температуры. Однако ряд фотосопротивлений (например, фотосопротивление с сернистым кадмием CdS) имеют слабо выраженную температурную зависимость.

Фотосопротивления могут работать как на переменном, так и на постоянном токе.

Таким образом, при рассмотрении фотоэффекта учащиеся должны понять устройство и характеристики фотоэлементов.

§ 6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Прежде всего учащихся нужно ознакомить с одним важным физическим свойством люминесцирующих веществ. Для явления люминесценции нужны не чистые жидкости и кристаллы, имеющие безупречно правильную кристаллическую решетку, а растворы и кристаллы с посторонними примесями. Атомы этих инородных примесей и служат источниками люминесценции.

В разреженном состоянии практически все газы обладают люминесцентной способностью и дают характерные спектры излучения в видимой и ультрафиолетовой областях. Свечение чистых жидкостей обычно сильно затруднено вследствие взаимодействия соседних частиц. Хорошо люминесцируют в видимой части спектра растворы многих солей: солей редкоземельных элементов, некоторых тяжелых металлов (олова, свинца). Сильной люминесценцией обладают растворы многих органических соединений (бензола, нафталина и др.).

Лампы дневного света. Явление люминесценции широко используется в лампах дневного света. Люминесцентная лампа представляет собой разрядную трубку, воздух из которой выкачан, а введена капелька ртути и немного какого-нибудь инертного газа. Изнутри поверхность прозрачного стекла трубки покрыта слоем белых кристаллов люминофора. Во время свечения люминесцентных ламп температура в них не превышает 50°С.

Устройство люминесцентной лампы желательно объяснять, используя настенную таблицу «Люминесцентная лампа».

Люминесцентные лампы в наше время постепенно становятся важнейшим искусственным источником света. Спектр их излучения близок к дневному спектру. Они в 5—7 раз экономичнее ламп накаливания. Однако и в них далеко не полностью использованы все возможности преобразования электрической энергии в энергию светового потока.

Светоотдача ламп накаливания составляет около 20 лм/Вт, у люминесцентных ламп она в несколько раз больше — до 60—80 лм/Вт.

Люминесцентные лампы сейчас широко используются для освещения аудиторий, заводских и фабричных зданий, вокзалов, метро, улиц, площадей и т. д. Использование люминесцентных ламп повышает производительность труда. Переход от вечернего освещения, даваемого лампами накаливания, к дневному, даваемому люминесцентными лампами, повышает производительность труда на 3—8%, что крайне важно для народного хозяйства.

Применение кристаллофосфоров в электронно-лучевых приборах. Кристаллофосфоры, наносимые на экраны кинескопов, должны удовлетворять ряду требований. Наиболее общим требованием является возможно более высокая яркость их свечения, иначе — высокий коэффициент использования падающего потока электронов. Кроме того, важна стабильность вещества фосфора по отношению к бомбардировке электронами. Существенна также и мелкозернистость порошка кристаллофосфора, так как на гладкой поверхности экрана пучок электронов может быть сфокусирован более точно и дает тонкие светящиеся линии, что способствует более точному определению интенсивности процесса в каждый данный момент времени.

Кристаллофосфоры, применяющиеся в кинескопах цветного телевидения, должны обладать несколькими специфическими свойствами. Помимо высокого коэффициента преобразования энергии электронного пучка в свет, что является общим требованием ко всем катодолюминофорам, они должны обладать большой насыщенностью цвета.

Свойство люминесценции находит широкое применение в электронно-оптических преобразователях (ЭОП) (рис. 111). Пусть перед ЭОПом находится объект *1*, тогда в ЭОПе изображение объекта *4* с помощью объектива *2* в инфракрасном

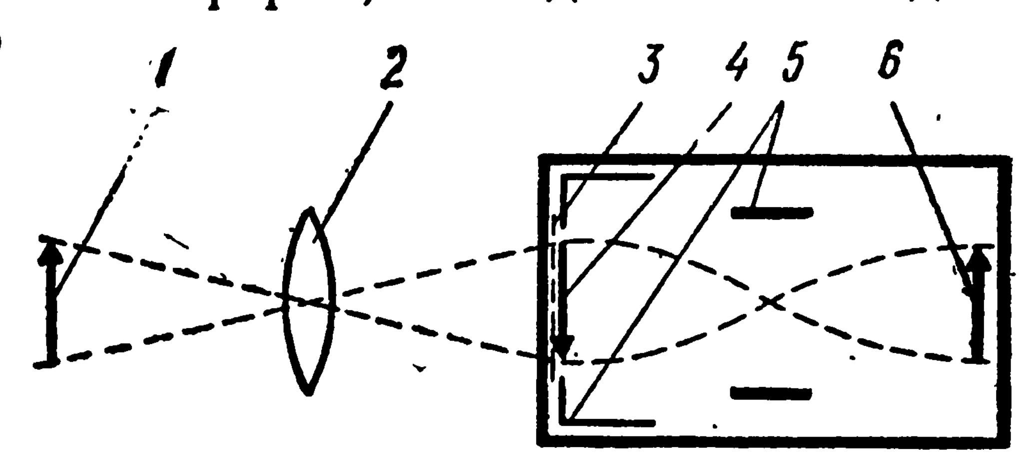


Рис. 111. Устройство электронно-оптического преобразователя (ЭОПа):

1 — объект; *2* — объектив; *3* — фотокатод; *4* — световое изображение; *5* — фокусирующие электроды; *6* — электронное изображение.

свете получают на поверхности светочувствительного катода *3*. Электроны, выделившиеся с поверхности катода под действием инфракрасных лучей, ускоряются приложенным электрическим полем, создаваемым фокусирующими электродами *5*. Электроны попадают на люминесцентный экран и возбуждают его. На экране получается видимое изображение *6*.

Электронно-оптические преобразователи используются в так называемых приборах ночного видения. Такой прибор, поставленный, например, на танк, позволяет вести прицельную стрельбу темной ночью, так как стрелок видит на экране ЭОПа четкое изображение объекта.

Люминесцентный анализ. Люминесцентный анализ применяется для контроля сырья, чистоты окончательных продуктов химического синтеза и для наблюдения за ходом химических реакций. Особенно большое значение люминесцентный анализ имеет в промышленности высокочистых материалов, идущих для производства полупроводников, кристаллофосфоров и сцинтилляторов. С его помощью можно обнаружить присутствие примесей, составляющих миллионные доли процента.

О чувствительности люминесцентного анализа говорят такие цифры. Используя этот метод, можно, например, установить присутствие меди в соединении, если даже ее имеется 10^{-9} г, а цинка — 10^{-8} г.

Можно рассказать, как производят люминесцентный анализ урановых соединений на содержание урана. Исходные соединения сначала прокаливают на воздухе при высокой температуре для их очистки от различных органических примесей. Затем их растворяют в серной или азотной кислоте, при этом образуются сернокислые или азотнокислые соли уранила вместе с солями других элементов. Каплю такого разведенного раствора смешивают с борной кислотой или фтористым натрием и на петле из платиновой проволоки прокаливают в пламени горелки. Образуется перл, окрашенный солями уранила. В свете коротковолнового ультрафиолетового излучения паров ртути, возбуждаемых электрическим разрядом, перл обнаруживает яркую люминесценцию. По сравнению с яркостью стандартного перла, используя таблицы, определяют концентрацию урана в перле.

Таким образом, после изучения этого параграфа учащиеся должны усвоить некоторые технические применения люминесценции.

§ 7. ЛАЗЕР

Квантовая электроника является довольно новым разделом техники, история которого начинается с 1954 г., со времени создания первого молекулярного усилителя. За двадцать с небольшим лет приборы квантовой электроники стали применяться в

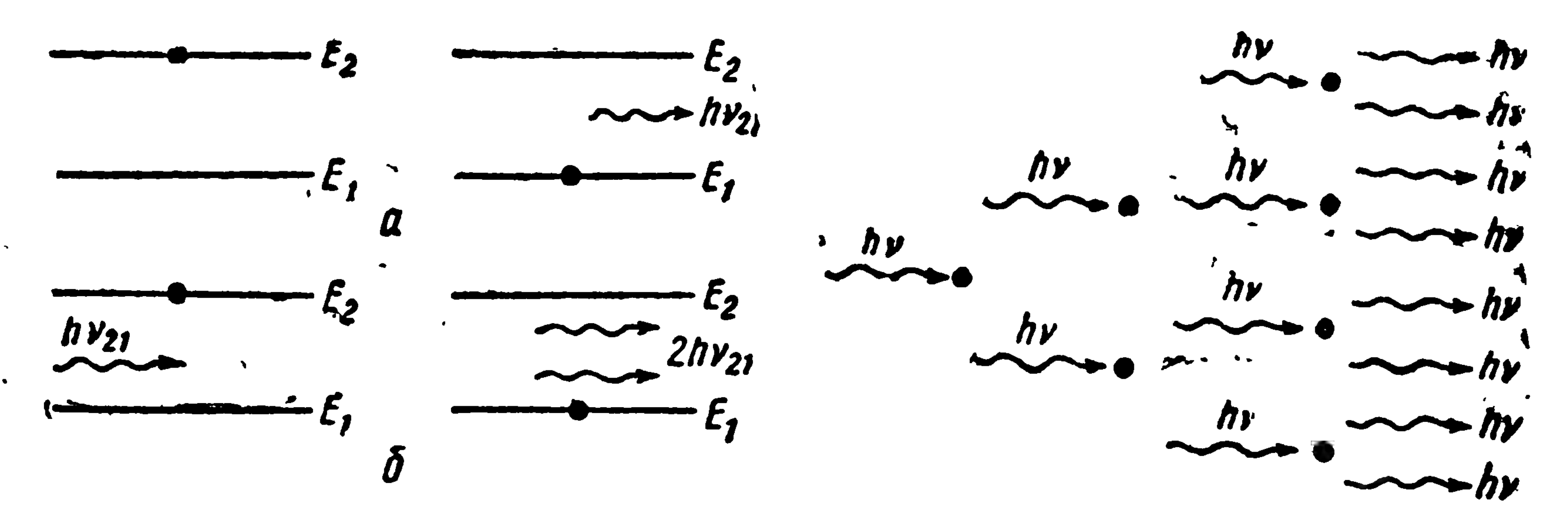


Рис. 112. Взаимодействие света с атомами среды:

а — спонтанное излучение; б — стимулированное излучение.

Рис. 113. Образование фотонной лавины.

самых различных отраслях техники и технологии: в системах связи и обработки информации, в оптической локации и т. д.

Учитывая важное место квантовой электроники в современной технике, а также большой интерес учащихся к этим вопросам, желательно несколько расширить и углубить сведения, содержащиеся в учебнике «Физика-10», что может быть сделано на факультативных занятиях. Прежде всего следует рассказать об индуцированном излучении.

Учащимся известно, что энергия электрона, связанного в атоме, а следовательно и энергия атома в целом, не произвольна, она может принимать дискретный ряд значений E_0, E_1, ..., E_n. Они также знакомы с процессами спонтанного излучения и поглощения энергии атомами.

Однако атом может перейти с уровня E_2 на уровень E_1 не только спонтанно, но также под действием электромагнитной волны, если частота этой волны равна $\nu_{21}=\frac{E_2-E_1}{h}$. При этом рождается фотон — «близнец», полностью совпадающий с индуцирующим его фотоном по частоте, фазе и поляризации, летящий по одному направлению (рис. 112). Если два этих фотона подлетают к двум другим атомам, рождаются еще два фотона и дальше летят уже четыре абсолютно одинаковых фотона. Так образуется фотонная лавина (рис. 113). Весь этот процесс излучения атомов под действием электромагнитного поля называется вынужденным (стимулированным, индуцированным) излучением.

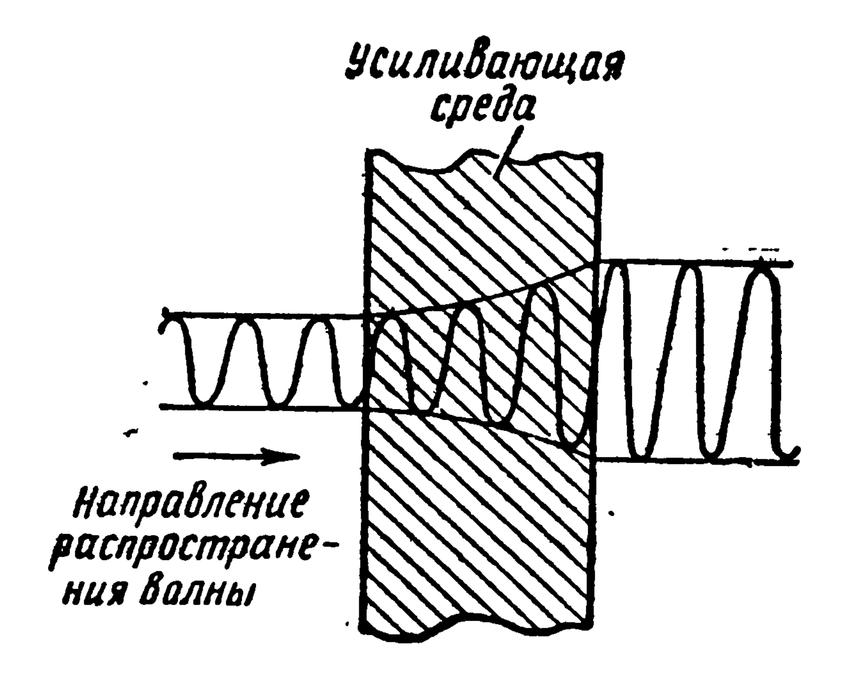


Рис. 114. Увеличение амплитуды электромагнитной волны при прохождении усиливающей среды.

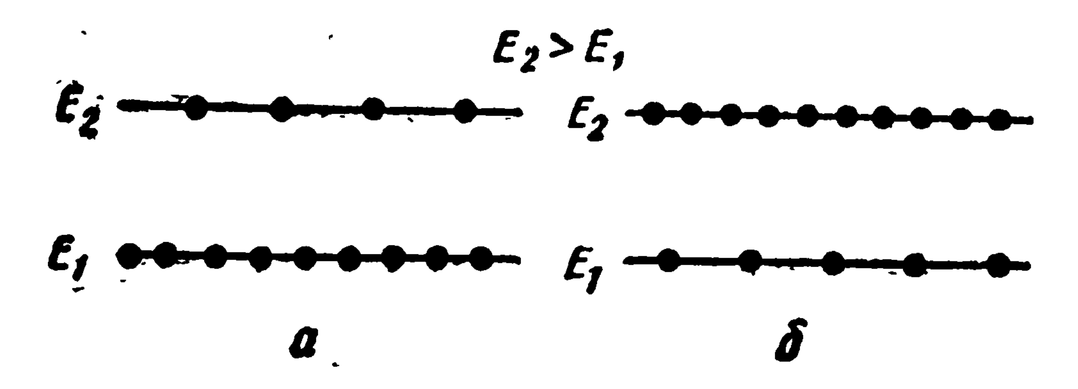


Рис. 115. Термодинамическое равновесие (*а*) и инверсное состояние (*б*) системы.

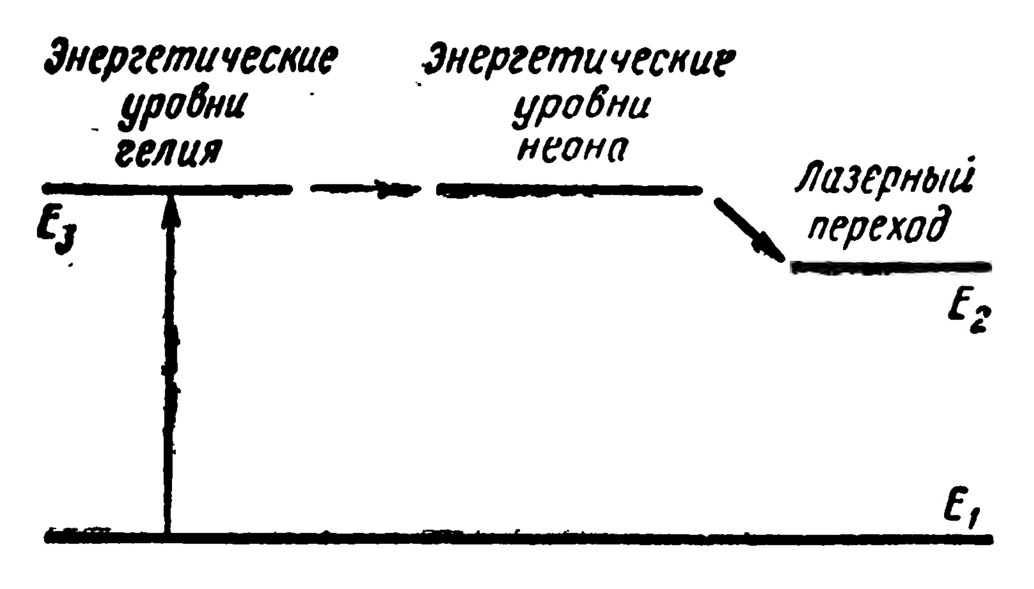


Рис. 116. Трехуровневая энергетическая диаграмма (неон-гелиевого лазера).

Очень важно подчеркнуть, что при индуцированном излучении происходит когерентное усиление электромагнитной волны за счет взаимодействия волны со связанными электронами усиливающей среды (см. рис. 114). Усиливающие свойства среды определяются соотношением между числом актов поглощения и вынужденного излучения. Но число актов поглощения фотонов пропорционально концентрации атомов на нижнем уровне E_1, а число актов вынужденного излучения — концентрации атомов на верхнем уровне E_2. Значит, если на верхнем уровне E_2 будет электронов больше, чем на нижнем уровне E_1, то среда будет усиливающая, если же меньше, то поглощающая.

Но в обычных средах всегда имеет место такое соотношение концентраций, при котором на более высоком энергетическом уровне находится меньшее число частиц, эти среды поэтому не могут быть усиливающими, пока находятся в состоянии термодинамического равновесия. Чтобы вывести их из этого состояния, необходимо принять специальные меры, тогда в такой среде можно получить концентрацию частиц на более высоком уровне, большую, чем на нижнем (среды с таким соотношением концентраций называются активными) (рис. 115).

Создать среду с инверсией концентраций частиц можно двумя путями: или возбуждая ее электрическим разрядом, или заставляя поглощать фотоны с соответствующей разницей энергий. Однако получить инверсию на двух энергетических уровнях все равно не удастся — вероятность переходов между уровнями сверху вниз и снизу вверх будет равна. Поэтому в лазерах применяются трехуровневые схемы.

Энергетические диаграммы, показанные на рисунке 116, соответствуют лазеру, работающему на смеси неона и гелия. Атомы гелия возбуждаются электронными ударами, и электроны накапливаются на уровне E_3. Атомы гелия, сталкиваясь с

атомами неона, отдают им свою энергию и переводят атомы неона с уровня E_1 на уровень E_3, в результате чего между уровнями неона E_3 и E_2 возникает инверсия: на верхнем уровне E_3 частиц больше, чем на нижнем уровне E_2. Между этими уровнями и начинается лазерный переход с длиной волны 6328 Å.

Однако все эти рассуждения относятся лишь к квантовому усилителю, а лазер является типичным автогенератором, в котором осуществляется положительная обратная связь за счет того, что усиливающая среда помещается в оптический резонатор, образованный двумя зеркалами. Часть фотонной лавины, образующейся в усиливающей среде (рис. 117), отражается от зеркала $З_1$ и возвращается в среду. После усиления за счет испускания новых актов индуцированного излучения фотоны подлетают ко второму зеркалу $З_2$, от которого отражаются и возвращаются в исходную точку. Очевидно, работа в установившемся режиме начнется тогда, когда усиление фотонов в среде станет равным их потерям на зеркалах.

Таким образом, в лазерах принцип обратной связи реализуется за счет возвращения части усиленного сигнала на вход генератора. Квантовый усилитель, как и любой другой усилитель, при введении достаточно большой положительной обратной связи становится генератором.

Важно отметить основные характеристики излучения лазера — монохроматичность и пространственную когерентность излучения, так как именно с ними связаны главные применения этих приборов.

Монохроматичность лазерного излучения непосредственно определяется механизмом индуцированного излучения. Так как при индуцированном излучении «рождающиеся» световые волны оказываются в одной фазе, с одинаковым направлением поляризации и распространяются в одном направлении, то когерентная длина цуга увеличивается на несколько порядков, и если у обычного теплового источника можно получить когерентный цуг длиной 3 м, то у лазера длина когерентного цуга составляет 3000 м. Так как длина цуга велика, а она определяет монохроматичность излучения, то лазер дает одну довольно узкую спектральную линию с частотой, соответствующей раз-

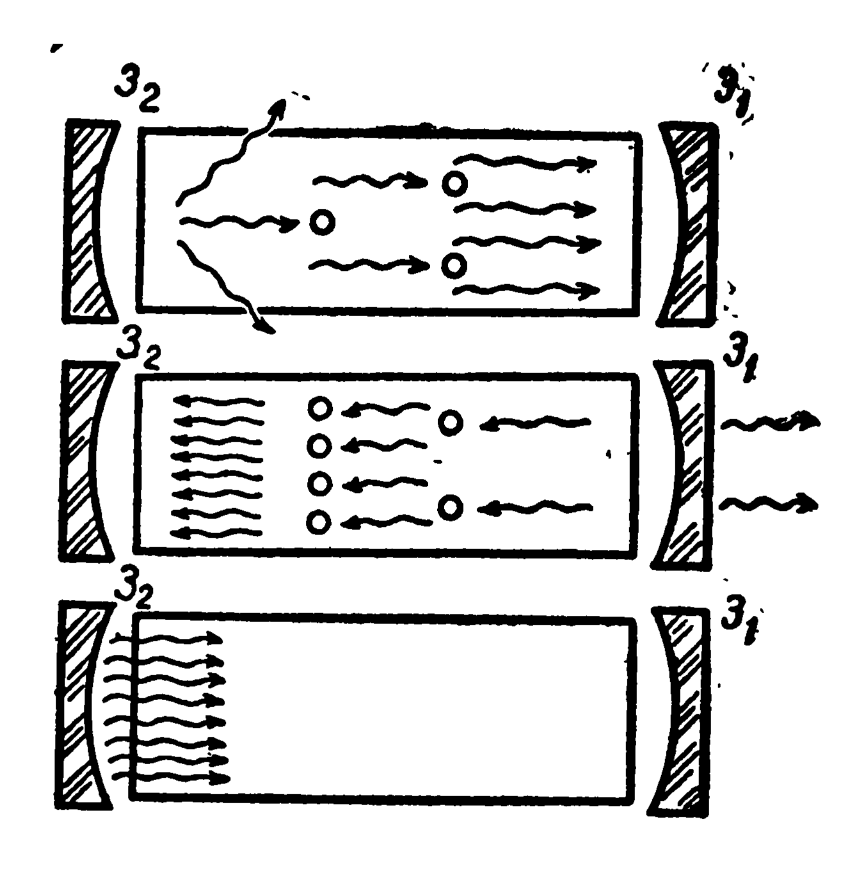


Рис. 117. Отражение фотонов от зеркал лазера.

ности энергий двух уровней, т. е. монохроматичность лазерного излучения исключительно велика.

Высокую пространственную когерентность лазерного излучения можно объяснить следующим образом. При отражении излучения, испущенного атомами, в зеркалах происходит как бы удаление источника на такое расстояние, что электромагнитная волна, падающая на выходное зеркало лазера, оказывается синфазной.

При изложении этого материала полезно продемонстрировать диафильм «Квантовые генераторы».

После ознакомления с содержанием этого параграфа учащиеся должны хорошо понимать, как происходит спонтанное излучение света и образование фотонной лавины, как работает лазер.

§ 8. ГОЛОГРАФИЯ

Вопросы голографии могут изучаться на факультативных занятиях.

Прежде всего учащимся нужно сообщить, что развитие этого принципиально нового метода регистрации изображения связано со свойствами лазерного излучения. Хотя первые голограммы были получены при помощи излучения ртутной лампы, однако широкое развитие голографии связано прежде всего с появлением лазеров.

Рассматривая вопросы получения изображения в фотографическом аппарате, нужно обратить внимание на одну особенность получения фотографического изображения: изображение предмета на фотопленке (или фотопластинке) фотоаппарата получается четко лишь при строго определенном положении предмета, фотопленки и объектива. Однако вся информация о фотографируемом предмете должна находиться не только в плоскости фотопленки, но и в любой другой плоскости фотоаппарата, перпендикулярной оптической оси объектива. Таким образом, при фотографировании четкие изображения получаются только для точек предмета, расположенных от фотоаппарата на одинаковом расстоянии. Даже фотографирование с помощью стереокамер не создает полного эффекта объемности, так как наблюдатель лишен возможности менять точку наблюдения стереофотографии. Изображение сфотографированного объекта объемно видно только в той точке, где располагалась стереокамера во время съемок. Все это связано с тем, что при фотографировании регистрируется только амплитуда падающей световой волны, которая определяется по степени почернения фотоэмульсии.

Принципиальное отличие голографического метода от обычной фотографической регистрации изображения заключается в том, что на голограмме регистрируется не только амплитуда,

но и фаза световой волны, что и определяет все преимущества голографического метода. Для регистрации фазы используется явление интерференции световых волн. Важно, чтобы учащиеся поняли, что использование нового источника излучения — лазера в явлении интерференции, которое исследуется уже много веков, позволило получить совершенно уникальный метод регистрации изображения.

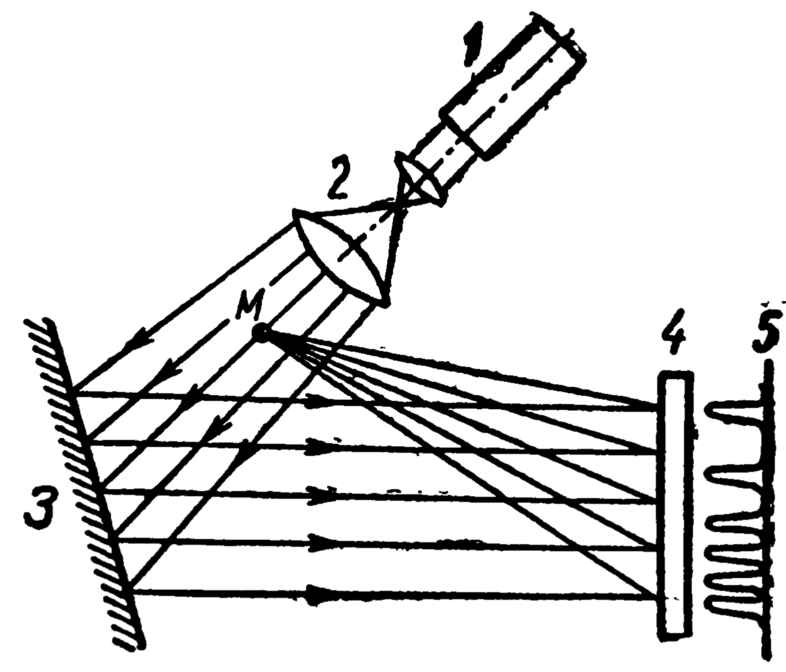


Рис. 118. Схема получения голограммы:

1 — лазер; 2 — световой рупор; 3 — зеркало; 4 — фотопластинка; 5 — интерференционная картина.

Далее следует разобрать с учениками схему получения голограммы точечного объекта (рис. 118). Излучение лазера 1 попадает на световой рупор 2, состоящий из двух линз и служащий для расширения лазерного излучения, что необходимо для освещения всего объекта. Часть излучения рассеивается на объекте *М* (предметная волна) и попадает на регистрирующую фотопластинку 4, где складывается с излучением, миновавшим объект и отразившимся от зеркала 3 (опорная волна). В результате сложения двух этих световых пучков на поверхности фотопластинки наблюдается интерференционная картина 5, являющаяся голограммой точечного объекта *М*. Эта интерференционная картина представляет собой не что иное, как дифракционную решетку с переменным расстоянием между щелями.

Если теперь такую дифракционную решетку осветить когерентным световым пучком от лазера (рис. 119), то возникнет система дифракционных максимумов. При дифракции получаются две системы лучей, одна из которых соответствует мнимому изображению объекта (ее видит наблюдатель снизу), а другая — действительному изображению (ее видит верхний наблюдатель).

В случае объекта сложной формы все точки объекта дают интерференционные картины, которые, складываясь, образуют общую голограмму объекта. В каждую точку голограммы приходят лучи от различных точек объекта, поэтому в ней содержится закодированная информация о всем предмете в целом. Если голограмму разбить на довольно мелкие осколки, то при просвечивании каждого из них получается изображение всего предмета. Это и есть первое удивительное свойство голографического изображения, которое может быть легко понято учащимися после усвоения ими процесса получения и проявления голограмм.

Учащихся нужно познакомить и со вторым интересным свойством голографического изображения: его объемностью. Так

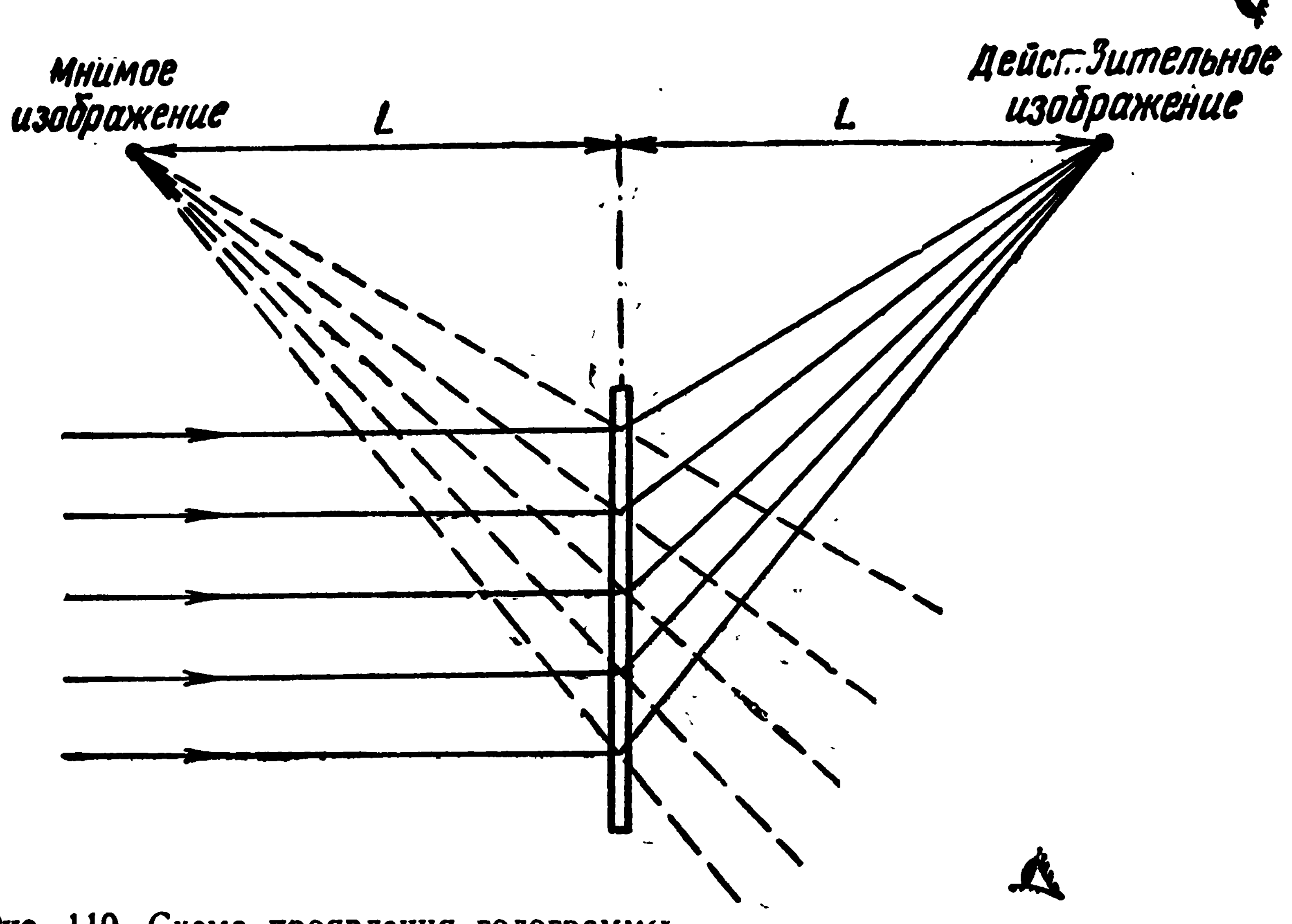


Рис. 119. Схема проявления голограммы.

как полученная интерференционная картина заключает в себе информацию о расстоянии до объекта, то изображение имеет объемный характер. Если наблюдатель при рассмотрении голограммы, освещаемой когерентным пучком, меняет положение головы относительно голограммы, то он начинает видеть скрытые ранее от него участки объекта, в чем как раз и заключается эффект объемности.

Еще одно интересное свойство голограммы можно понять, выполнив некоторые расчеты. Оказывается, при просвечивании голограммы можно изменять частоту опорной волны. В этом случае наблюдается также два изображения (действительное и мнимое), но на другом расстоянии от голограммы, которое можно определить из следующего выражения:

$$H_2 = \frac{\lambda_1 H_1}{\lambda_2},$$

где λ_1 — длина волны при съемке голограммы;
H_1 — расстояние между голограммой и объектом при съемке;
λ_2 — длина волны при просмотре голограммы.

Таким образом можно получить голограмму с помощью очень коротких волн (например, рентгеновских), а смотреть изображение в видимом свете или наоборот: можно получить изображение с помощью инфракрасных волн, а просматривать в видимом свете.



Установка ракеты-носителя на старте.



Реакторный зал Нововоронежской АЭС им. 50-летия СССР.

Уже сейчас голографические методы довольно широко применяются в научных исследованиях, и уже вырисовываются довольно конкретные области технических применений голографии. Намечаются пути создания голографического объемного телевидения и кино, но пока все это находится в стадии экспериментов. Предполагается довольно широкое применение голографических методов для хранения информации в электронно-вычислительных машинах четвертого поколения.

После рассмотрения этого материала учащиеся должны усвоить принципы получения и восстановления голограмм, а также отличия голографического метода получения изображений от фотографического.

§ 9. НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ

Рассмотренный ниже материал о применении лазеров может быть разобран на факультативных занятиях.

Возможность получения с помощью лазеров световых пучков высокой мощности (до 10^{16}—10^{20} Вт/м^2) при фокусировке излучения в пятно диаметром 10—100 мкм делает лазер мощным средством обработки оптически непрозрачных материалов, недоступных для обработки другими методами (газовой и дуговой сваркой, кислородно-ацетиленовым пламенем, электронным пучком и др.). Острая фокусировка и относительно небольшое время установления стационарного режима взаимодействия с веществом обеспечивают локальность обработки без значительного воздействия на соседние участки. Это позволяет осуществить новые технологические операции, например, просверливание очень узких каналов в тугоплавких металлах, различные операции при изготовлении пленочных микросхем, а также увеличить скорость обработки деталей. Так, использование лазеров для пробивания отверстий в алмазных кругах сокращает время обработки одного круга с 2—3 дней до 2 мин. Наиболее широко применяется лазер в микроэлектронике, где предпочтительней сварка соединений, а не пайка.

Желательно, чтобы учащиеся поняли основные преимущества лазерной обработки материалов: отсутствие механического контакта с обрабатываемым изделием; возможность обработки труднодоступных деталей и создания узких каналов, направленных под углом к обрабатываемой поверхности.

Сверление и резание. Для сверления и резания наиболее удобны материалы с малой теплопроводностью, в которых интенсивно происходит испарение (алюминий, сталь). Лазерную обработку материалов применяют для сверления отверстий в алмазных кругах, в ферритовых пластинах и фильерах; для протяжки проволоки и изготовления синтетических волокон, а также для автоматической калибровки резисторов с точностью до 0,01% и балансировки вращающихся деталей. Лазер позволяет

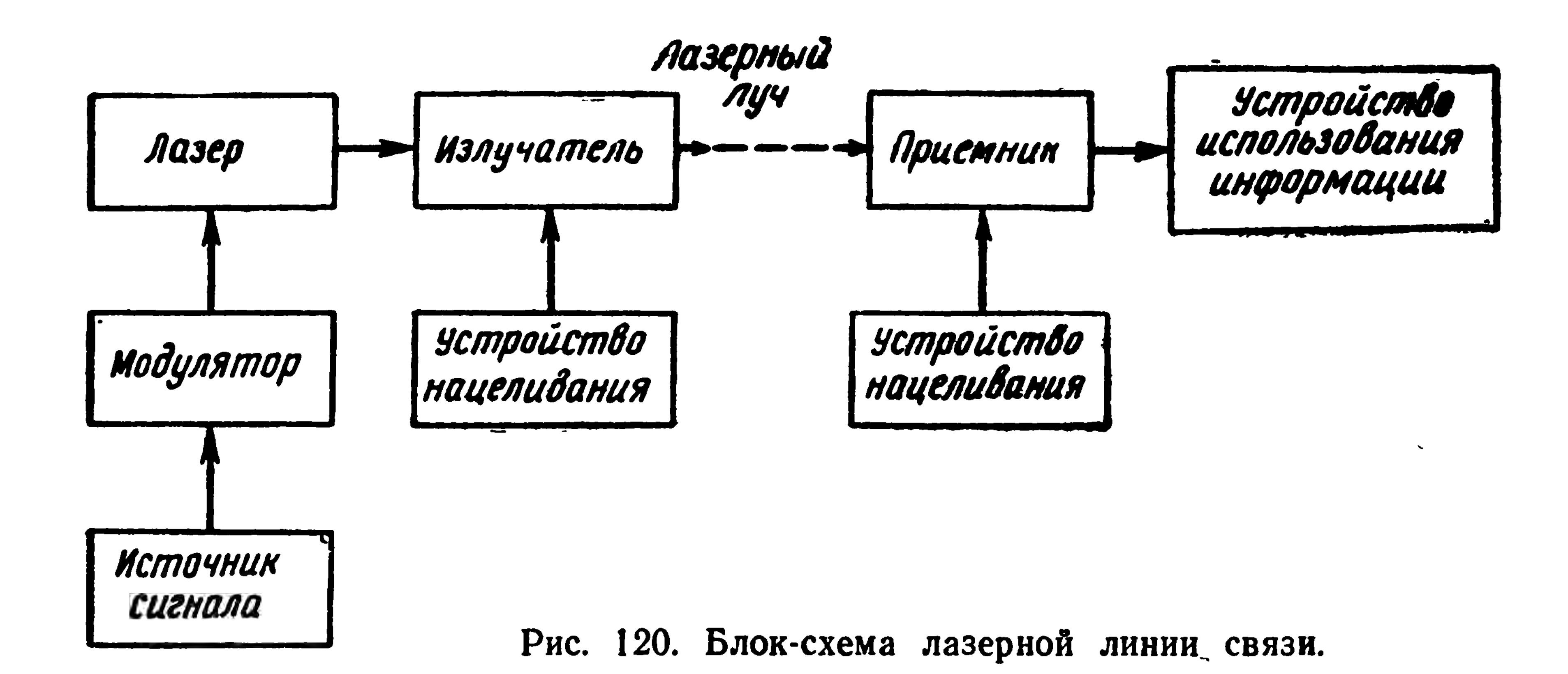


Рис. 120. Блок-схема лазерной линии связи.

просверлить отверстия, диаметр которых меньше их глубины в 25 раз.

Сварка, плавление, пайка. Используя излучение лазеров, работающих в импульсном режиме, можно осуществить плавление вещества без его существенного испарения в очень узком диапазоне мощностей. При этом глубина проплава составляет доли миллиметров. Лучше всего плавятся металлы, обладающие большой теплопроводностью (Cu, Ag, Au). Применение лазеров в микроэлектронике позволяет выполнять монтаж микросхем и печатных схем, травление микросхем, изготовление электронно-дырочных переходов, приварку выводов к транзисторам и полупроводниковым диодам.

Если температура на поверхности материала не достигает температуры плавления вещества, то, разогревая материал лазерным лучом, можно осуществить локальную диффузию примесей в полупроводниках, термообработку проводящих пленок для увеличения их стабильности и максимально допустимой мощности рассеяния, а также для увеличения тока эмиссии ламп без механического повреждения катода.

Лазеры в системах связи и локации. Другое весьма важное применение лазеры находят в системах связи и локации. Основные преимущества лазеров — узкая направленность передачи сигнала и широкая полоса пропускания частот — позволяют получить весьма совершенные технические устройства, обладающие уникальными характеристиками.

На рисунке 120 показана блок-схема лазерной линии связи или телевидения. Модулятор изменяет плотность лазерного излучения в соответствии с передаваемым сигналом. Промодулированный сигнал поступает на излучатель, которым является полупрозрачное зеркало лазера или фокусирующая оптическая система, уменьшающая расходимость луча. После прохождения светового сигнала по воздуху он попадает на приемник, где световой сигнал преобразуется в электрический сигнал, который

поступает на устройство использования информации, где выделяется передаваемая информация. В системе передачи, как и в системе приема, используются устройства нацеливания, позволяющие лазерному лучу точно попадать на приемник.

Уже проводились опыты, в которых описанная система позволяла передавать информацию 1000 телефонных или нескольких телевизионных каналов.

Желательно объяснить учащимся, что определенная трудность использования лазерных систем связи заключается в том, что лазерное излучение поглощается и рассеивается в атмосфере. Так как атмосфера Земли имеет определенную характеристику пропускания электромагнитных волн, то далеко не все лазеры могут использоваться в системах связи.

Наиболее полно преимущества лазерных систем связи могут быть реализованы в верхних слоях атмосферы (где поглощение очень мало) и в космическом пространстве. Например, с их помощью может осуществляться связь между искусственными спутниками Земли или создана линия связи Земля — Космос.

Разработанные лазерные локаторы имеют ряд бесспорных преимуществ по сравнению с обычными радиолокационными средствами, так как они позволяют с точностью до угловых секунд измерять угловые координаты объекта и его размеры. Упрощенная блок-схема лазерного локатора показана на рисунке 121. Передающая система состоит из лазера, источника накачки и импульсного генератора. С последнего сигнал подается в источник накачки и на систему обработки данных. Световой им-

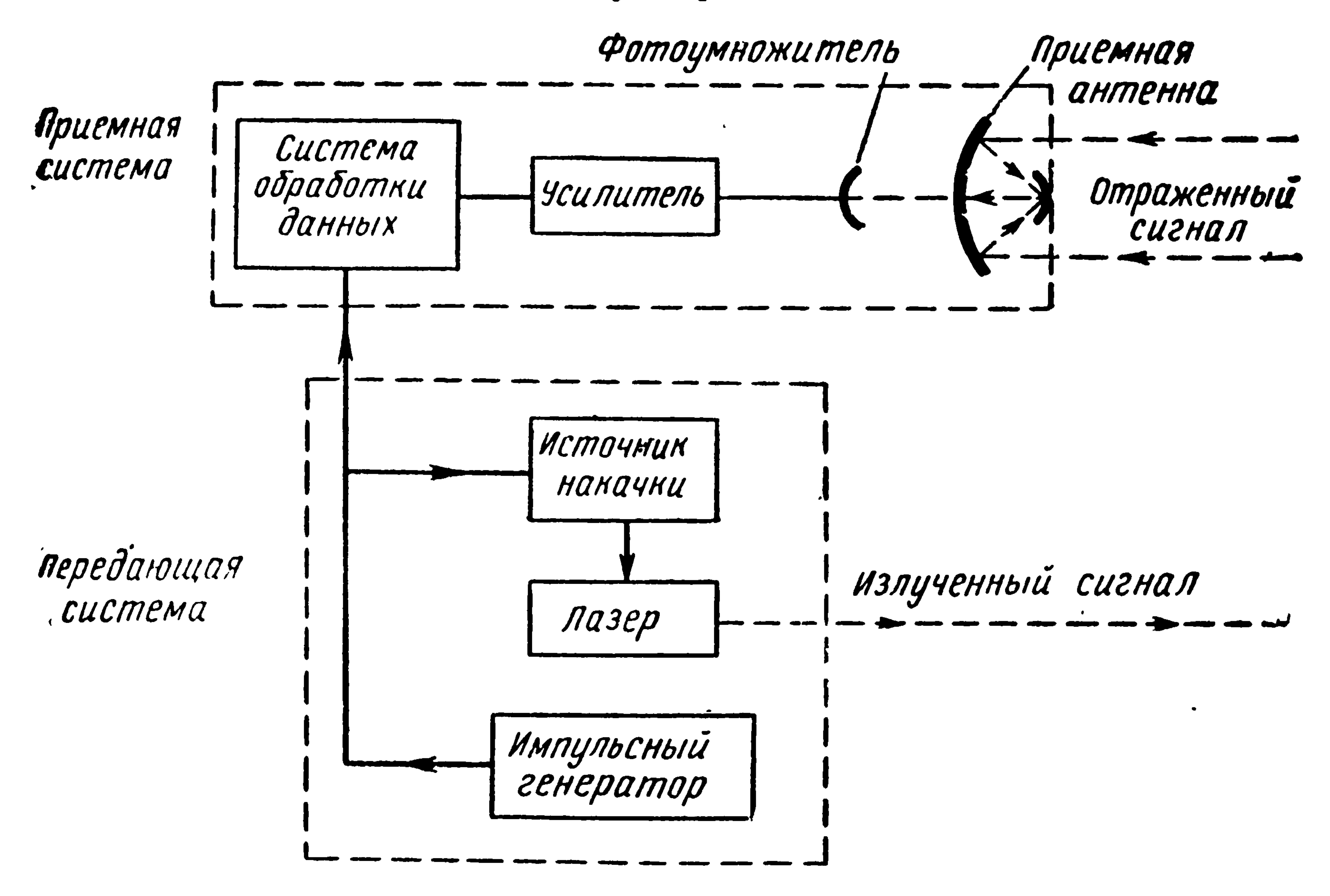


Рис. 121. Блок-схема лазерной системы локации.

пульс, испущенный лазером, отражается от объекта, фокусируется приемной антенной, а затем подается на фотоумножитель, где преобразуется в электрический сигнал, поступающий в усилитель. В систему обработки данных поступают два сигнала: первый от импульсного генератора, дающий начало отсчета, и второй — отраженный от объекта. Система обработки данных по разности времени Δt поступления этих сигналов позволяет определить дальность до объекта. Кроме того, определяются его угловые координаты.

Оптические лазерные локаторы могут быть применены в качестве портативных дальномеров в сухопутных войсках, авиации и на флоте. Такие локаторы позволят быстро определить расстояние до любой цели и тем самым повысить эффективность любого оружия.

Изучив изложенный выше материал, учащиеся получают представления о некоторых современных использованиях лазерной техники.

ЛИТЕРАТУРА

Глазунов А. Т., Фабрикант В. А. Оптические квантовые генераторы. — «Физика в школе», 1970, № 1.

Глазунов А. Т., Фабрикант В. А. Элементы голографии. — «Физика в школе», 1971, № 1.

Гуревич В. З. Теплый свет. М., «Наука», 1966.

Жевандров Н. Д. Поляризация света. М., «Наука», 1969.

Левшин В. Л., Левшин Л. В. Люминесценция и ее применение. М., «Наука», 1972.

Смирнов Б. М., Елецкий А. В. Лазеры в науке и технике. М., «Знание», 1971.

ГЛАВА VI

ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Содержание раздела «Строение атома и атомного ядра», изучаемого в курсе физики X класса, позволяет рассмотреть ряд важных вопросов ядерной техники. Соответствующий конкретный материал указан в таблице 11.

Таблица 11

Раздел курса физики	Раздел техники	Конкретный технический материал
Физика атомного ядра	Ядерная техника	Методы регистрации заряженных частиц Ускорители заряженных частиц Атомные электростанции Термоядерные реакторы Использование радиоактивных изотопов

§ 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Создание приборов, предназначенных для регистрации заряженных частиц, — одна из важных задач современной ядерной техники. Эти приборы дают информацию об энергии, заряде, скорости и массе частицы. Существующие детекторы частиц подразделяются на два класса: счетчики и следовые регистраторы.

Класс счетчиков весьма многообразен: он включает счетчики Гейгера—Мюллера, черенковские счетчики, импульсные ионизационные счетчики, люминесцентные счетчики и др.

Более полную информацию о характере движения частиц дают следовые регистраторы, к которым относятся камера Виль-

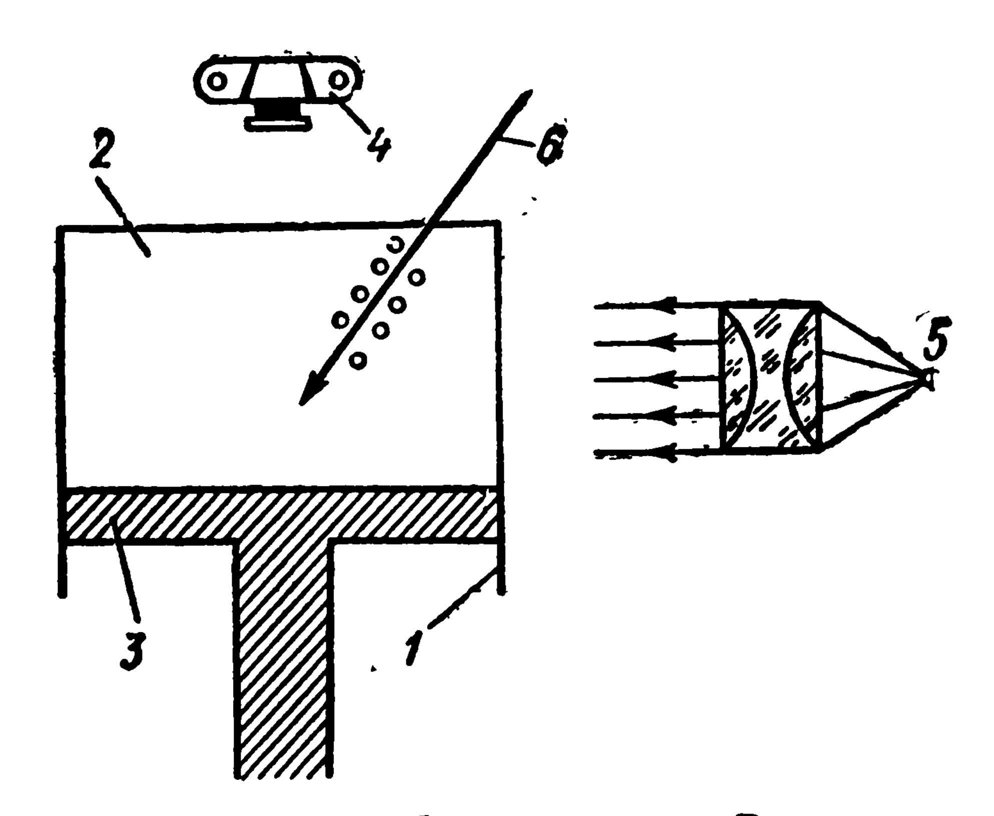


Рис. 122. Устройство камеры Вильсона:
1 — стеклянный цилиндр; 2 — рабочий объем камеры; 3 — поршень; 4 — фотографическое устройство; 5 — источник света; 6 — траектория частицы.

сона, толстослойные фотоэмульсии и пузырьковые камеры. Использование их в ядерной физике позволяет определить следы (треки) частиц, характер взаимодействия частиц, их распада и столкновений. Полученные треки, как правило, фотографируют или рассматривают под микроскопом.

Камера Вильсона. В камере Вильсона (рис. 122) в качестве рабочего вещества применяется переохлажденный пар (этилового спирта или воды), помещенный в стеклянный цилиндр. С помощью поршня, вставленного в цилиндр, давление в цилиндре может меняться. Перед включением камеры поршень создает в ней давление пара, близкое к давлению насыщенного пара.

Рабочий цикл камеры начинается быстрым адиабатическим расширением, при этом пар в цилиндре становится пересыщенным. Если в этот момент в камеру попадает поток частиц, то ионы, которые они образуют, будут действовать как центры конденсации. Возникающие на них капельки воды образуют след пролетевшей частицы — трек. С помощью специального устройства, расположенного рядом с камерой, треки освещаются и мгновенно фотографируются.

Для демонстрации работы камеры Вильсона ее устанавливают на проекционном аппарате с приспособлением для горизонтального проецирования и присоединяют к выпрямителю тока напряжением 250—300 В. В резиновую грушу набирают несколько капель спирта-ректификата и присоединяют к камере с помощью резиновой трубки. Медленно сжимают грушу, а затем быстро ее отпускают (Д. Э., т. 2, опыт 180). Следы альфа-частиц в камере Вильсона наблюдаются в течение 1—2 с после расширения воздуха.

Следует сообщить учащимся, что для избавления от фона космических лучей, которые могут дать свои треки, перед рабочим циклом в камере создается довольно сильное электрическое поле, отсасывающее случайно возникшие ионы.

Исследуя треки, полученные в камере Вильсона, можно определить число частиц, участвовавших в ядерной реакции, и направление их движения. В некоторых случаях камеры Вильсона помещают в магнитное поле, при этом создается возмож-

ность по искривлению треков определить заряды и массы исследуемых частиц, так как на заряженные частицы в магнитном поле будет действовать сила Лоренца. Камера Вильсона может быть сделана управляемой: если ее, например, соединить со счетчиком частиц, то она будет срабатывать только тогда, когда частицы попадают в счетчик.

При объяснении работы камеры Вильсона желательно показать диапозитивы «Схема современной камеры Вильсона» и «Треки электронно-позитронной пары в камере Вильсона», а также продемонстрировать кинокольцовку «Камера Вильсона».

Пузырьковая камера. Для регистрации треков заряженных частиц может использоваться не только пересыщенный пар, но и перегретая жидкость, находящаяся при температурах, превышающих температуру кипения. Приборы, использующие перегретую жидкость для регистрации частиц, называются пузырьковыми камерами, так как в них вдоль трека заряженной частицы образуются пузырьки пара.

Объяснение устройства пузырьковой камеры можно вести по диапозитиву «Схема пузырьковой камеры». В сосуде находится прозрачная жидкость (жидкий водород, фреон или пропан), при этом высокое давление удерживает жидкость от кипения, несмотря на очень высокую температуру. При резком понижении давления в камере жидкость становится перегретой, и если в этот момент в камеру попадает ионизирующая частица, то она отметит свой путь цепочкой пузырьков пара. Жидкость обязательно должна быть прозрачной, так как треки частиц, попадающих в пузырьковую камеру, фотографируются. Следует отметить, что пузырьковая камера обладает серьезным преимуществом: высокой плотностью рабочего вещества (ведь жидкость на несколько порядков плотнее газа). Вследствие этого эффективный объем пузырьковой камеры на 2—3 порядка выше эффективного объема камеры Вильсона. Кроме того, в пузырьковой камере очень малы искажения, поэтому с большой степенью точности можно идентифицировать треки частиц, прошедших через нее. Но пузырьковые камеры весьма дороги и сложны в изготовлении, поэтому их применяют только на ускорителях высоких энергий.

Метод толстослойных фотоэмульсий. По сравнению с другими следовыми регистраторами метод толстослойных фотоэмульсий самый дешевый, он не требует создания сложного оборудования. Этот метод основан на том, что заряженная частица, проходящая через фотоэмульсию, теряет энергию и ионизирует атомы и молекулы вещества, входящего в состав фотоэмульсии, при этом происходит разрушение кристаллов галоидного серебра. Если после проявления рассматривать фотоэмульсию под микроскопом, то трек прошедшей заряженной частицы будет виден как цепочка черных зерен металлического серебра. Изуче-

ние длины пробега и плотности почерненных зерен дает однозначную информацию об энергии и скорости частиц.

Для регистрации заряженных частиц используются фотоэмульсии толщиной в несколько сот микрометров. Фотоэмульсия обладает огромной тормозной способностью (в 200 раз большей тормозной способности газа в камере Вильсона), что обеспечивает высокую плотность информации о характере движения частиц. Например, трек в фотоэмульсии длиной 10^{-2} см аналогичен треку длиной 20 см в камере Вильсона. Фотоэмульсию, так же как и камеру Вильсона, можно помещать в магнитное поле, однако из-за малости траекторий необходимо применять исключительно сильные магнитные поля.

При рассказе о методе фотоэмульсий полезно показать учащимся диапозитив «Столкновение частиц в фотоэмульсии».

Искровая камера. Ученикам уже известно, что следовые регистраторы дают полную информацию о характере движения частиц, а счетчики практически мгновенно регистрируют заряженные частицы. Преимущества этих методов совмещены в искровой камере, которая состоит из близко расположенных плоских пластин (рис. 123), системы счетчиков, подсоединенных к логической схеме, и импульсного генератора высокого напряжения. Пластины соединены через одну, при этом половина из них заземлена, а другая половина присоединена к генератору, вырабатывающему импульсы высокого напряжения. Таким образом, между пластинами создается сильное электрическое поле.

При попадании в искровую камеру заряженная частица ионизирует газ вдоль своего трека, поэтому по треку проскакивает искра. Искры фотографируются и анализируются системой счетчиков, которые соединены с входом ЭВМ.

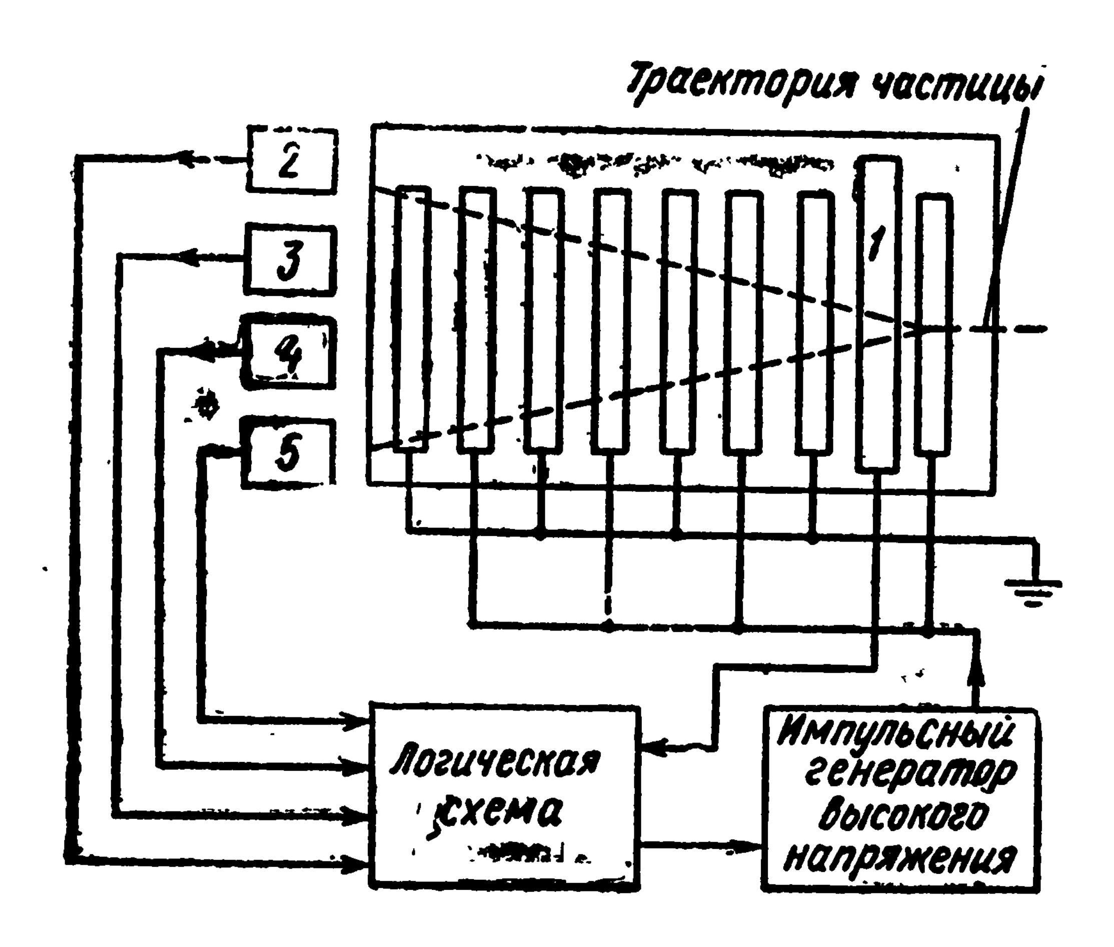


Рис. 123. Схема искровой камеры:
1 — плоские пластины; 2, 3, 4, 5 — система счетчиков частиц.

Искровые камеры достаточно сложны и дороги и поэтому применяются нечасто, как правило, в тех случаях, когда необходима высокая точность эксперимента. Например, с использованием искровой камеры в 1962 г. был проведен фундаментальный эксперимент, показавший отличие ионного нейтрино от электронного нейтрино, чем было доказано существование двух различных типов нейтрино.

После рассмотрения в классе этого материала учащиеся должны усвоить все эти методы регистрации, а также их преимущества и недостатки.

ЗАДАЧИ

1. Скорость α-частицы в среднем в 15 раз меньше скорости β-частицы. Почему α-частицы (жирный трек на рис. 124) слабее отклоняются магнитным полем?

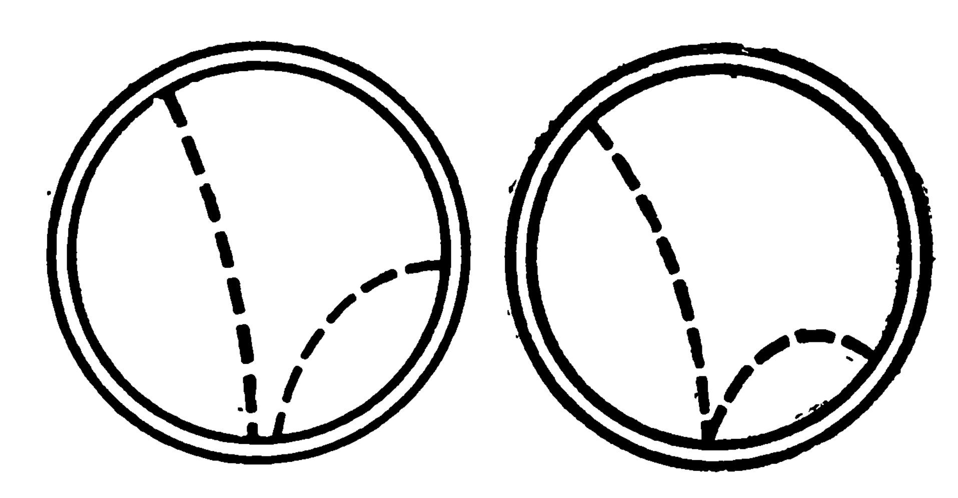


Рис. 124. К задаче 1 (§ 1, гл. VI). Рис. 125. К задаче 2 (§ 1, гл. VI).

2. На рисунке 125 представлены следы электрона и позитрона, полученные в камере Вильсона. Камера находилась в магнитном поле, линии индукции которого направлены от читателя перпендикулярно рисунку. Какой след принадлежит электрону, а какой — позитрону? Какая частица имеет большую кинетическую энергию?

§ 2. УСКОРИТЕЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Учащимся следует объяснить, что получение и систематическое исследование большинства заряженных частиц стало возможным лишь после того, как были созданы установки, ускоряющие заряженные частицы до энергий, определяемых миллиардами электрон-вольт. Так, например, для рождения пары нуклон — антинуклон требуется энергия налетающих частиц не менее 5—6 ГэВ.

Первыми установками, давшими возможность осуществить широкую программу поиска и исследования новых частиц, были беватрон в Калифорнии и синхрофазотрон в Дубне. Первый доводил энергию протонов до 6,2 ГэВ, а второй — до 10 ГэВ. В опытах на беватроне были открыты давно предсказанные теорией антипротон и антинейтрон. В Дубне открыли положительно заряженную частицу (антисигма-минус-гиперон) с массой около 2340 масс электрона.

Далее нужно кратко остановиться на характеристиках двух основных типов ускорителей: линейном и циклическом.

Линейные ускорители. В линейных ускорителях в настоящее время применяются два способа ускорения частиц.

Первый способ заключается в том, что поток заряженных частиц, испущенный источником, ускоряется полем, создаваемым системой электродов. При этом для создания постоянно ускоряющего поля четные и нечетные трубки присоединяются к разным клеммам генератора переменного напряжения (рис. 126, *а*).

Во втором способе ускорения (рис. 126, *б*) учитываются особенности распространения электромагнитной волны в волноводах.

Как известно, в волноводе можно использовать волну, у которой электрическое поле направлено вдоль трубки. Если конец волновода перекрыт металлической сеткой, то возникает стоячая волна.

Линейные ускорители обладают рядом преимуществ. Пучок ускоренных частиц легко выводится из ускорителя наружу, он хорошо сфокусирован, плотность частиц в пучке и общая интенсивность достаточно велики.

Циклические ускорители. Наибольшего успеха ускорительная техника достигла с появлением циклических резонансных ускорителей. Обращаясь в магнитном поле, частицы многократно проходят через один и тот же ускоряющий промежуток. Для резонансного ускорения время T между двумя последующими прохождениями через один и тот же промежуток должно равняться периоду T_0 изменения ускоряющего поля. Если частица движется по орбите радиусом R со скоростью v, то резонансное условие имеет вид:

$$\frac{2\pi R}{v} = T = T_0.$$

В циклотроне в качестве ускоряющего электрода используются дуанты — две D-образные коробки, между которыми создается переменное электрическое поле с постоянной частотой (рис. 127). Внутри дуантов электрическое поле отсутствует. На частицу ускоряющая сила действует в те моменты времени, когда она пролетает через щель между дуантами дважды за 1 оборот. В циклотронах ускоряются протоны, α-частицы, многозарядные ионы легких элементов.

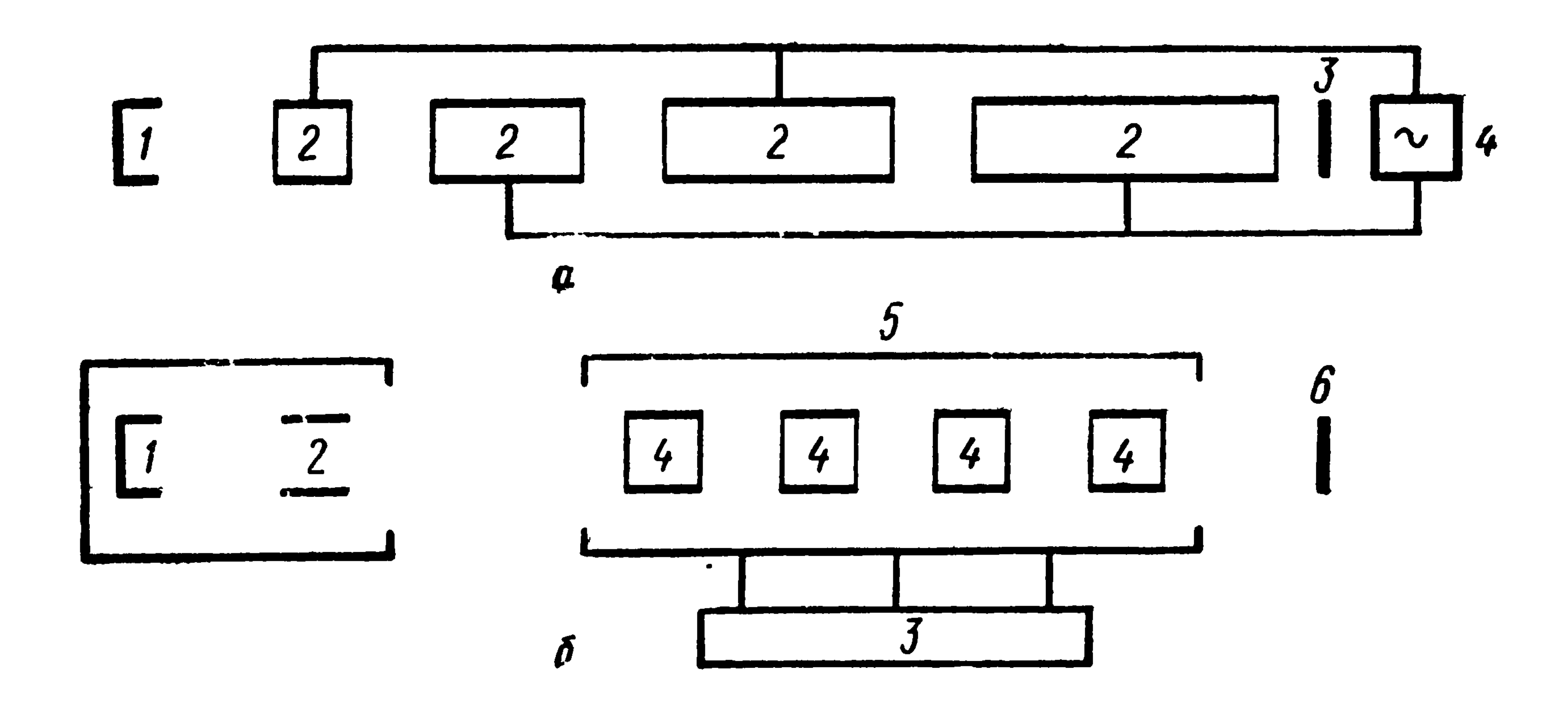


Рис. 126. Две схемы линейных ускорителей:

1 — ионный источник; *2* — пролетные трубки; *3* — мишень; *4* — генератор (*а*); *1* — ионный источник; *2* — электростатический ускоритель протонов; *3* — импульсный генератор; *4* — пролетные трубки; *5* — волновод; *6* — мишень (*б*).

Существенным недостатком циклического метода ускорения является то, что с релятивистским ростом массы частиц нарушается резонансное условие.

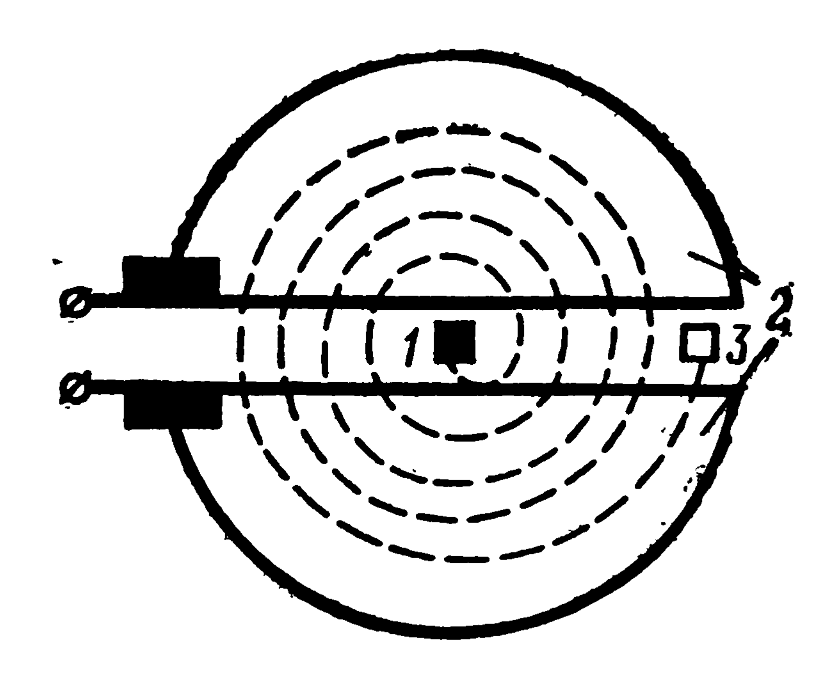


Рис. 127. Устройство циклотрона: 1 — источник частиц; 2 — дуанты; 3 — мишень.

Серпуховский протонный синхротрон. Этот синхротрон предназначен для ускорения протонов до энергии 70—76 МэВ. О размерах ускорителя можно судить по следующим данным. Электромагнит протонного синхротрона имеет длину 1483 м, масса электромагнита более 20 000 т. Наибольшая мощность электрической цепи электромагнита 100 000 кВт. Система питания состоит из четырех крупных машинных агрегатов и преобразователей, рассчитанных на получение тока с максимальным значением 5500 А в каждой из двух обмоток электромагнита.

Ускоритель состоит из нескольких главных частей: предускорителя, линейного ускорителя, основного электромагнитного кольца и экспериментального корпуса. В форинжекторе с атомов водорода срываются электроны, и полученные протоны ускоряются импульсным электрическим полем до энергии 760 000 эВ. Дальнейшее ускорение протонов осуществляется в линейном ускорителе. Здесь они приобретают энергию 100 000 000 эВ и при помощи ионнооптической системы вводятся (инжектируются) в основное кольцо ускорителя.

Диаметр основного кольца ускорителя 470 м, а длина его около 1,5 км. Внутри туннеля установлено 120 электромагнитов для фокусировки протонов. Двигаясь внутри вакуумной камеры, протоны за время 2,6 с проходят путь более 0,5 млн. км. За один оборот протоны получают энергию около 190 КэВ. Всего протоны за время ускорения до энергии 70 МэВ совершают около 400 000 оборотов, при этом масса протона возрастает в 75 раз.

Ускоряющая сила действует на протоны при их движении в вакуумной камере, помещенной между полюсами электромагнита и имеющей в сечении форму эллипса с осями 115 мм по вертикали и 195 мм по горизонтали. Камера изготовлена из нержавеющей стали толщиной 0,4 мм и откачивается с помощью 120 насосов до 10^{-4} Па.

Огромные размеры ускорителя и высокие требования к характеристикам магнитного поля приводят к необходимости иметь устройства, позволяющие с высокой степенью точности контролировать положение пучка протонов в камере протонного синхротрона. Для этого в разных местах камеры ускорителя

расположены 170 специальных электростатических электродов-датчиков, при помощи которых орбита частиц со средним радиусом около 230 м может быть определена с точностью до 1 мм.

В современных крупных ускорителях органически сочетаются огромные размеры и масса установок с высокой точностью изготовления и монтажа отдельных элементов. В Серпуховском ускорителе при длине кольцевого электромагнита около 1,5 км каждый из составляющих его блоков установлен с точностью 0,1 мм. Блоки электромагнита собраны из отдельных листов кремнистой стали толщиной 2 мм.

Применение ускорителей заряженных частиц. Ускорители заряженных частиц находят все более широкое технологическое применение. Большое число ускорителей уже используется не для чисто научных целей, а для различных целей производства. Например, сейчас до 80% всех радиоактивных изотопов, используемых в промышленности и сельском хозяйстве, получается на ускорителях. Важной технологической задачей является точное измерение толщин различных (в основном металлических) изделий. Для этой цели используются протоны, получаемые на ускорителях; этот метод дает возможность измерять толщину изделий с точностью до 0,0015%, тогда как обычные методы обеспечивают точность 2%. Мощное рентгеновское и γ-излучение, получаемое на ускорителях, применяется для дефектоскопии; с их помощью, например, проверяются сварные швы трубопроводов.

Рассмотрев весь этот материал, учащиеся ознакомятся с конструкциями ускорителей и их техническими применениями.

§ 3. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В отличие от тепловых электростанций, использующих природное органическое топливо (по существу энергию химических связей), атомная электростанция — единственное пока устройство, позволяющее использовать атомную (точнее, ядерную) энергию.

Атомные электростанции в настоящее время работают на горючем трех типов (^{233}U; ^{235}U; ^{239}Pu), и их высокая эффективность определяется прежде всего тем, что при реакции 1 г урана или плутония выделяется энергия, эквивалентная энергии, содержащейся в 2800 кг условного топлива с теплотворной способностью 29 МДж/кг.

Далее следует рассмотреть принцип действия и тепловую схему атомной электрической станции (АЭС) на медленных нейтронах.

В настоящее время в эксплуатации находятся два основных типа атомных станций: двухконтурные и одноконтурные. Разница между ними заключается в том, что в двухконтурных схемах используется промежуточный теплоноситель, который по-

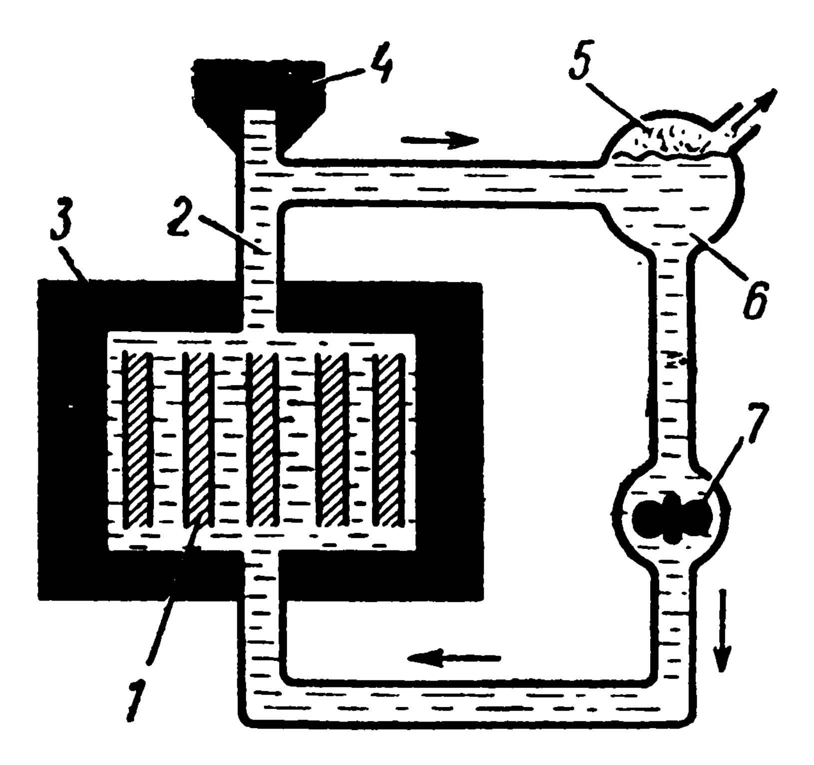


Рис. 128. Схема одноконтурного ядерного реактора:

1 — активная зона; *2* — теплоноситель (пароводяная смесь); *3* — замедлитель (графит); *4* — корпус; *5* — перегретый пар; *6* — сепаратор пара; *7* — насос.

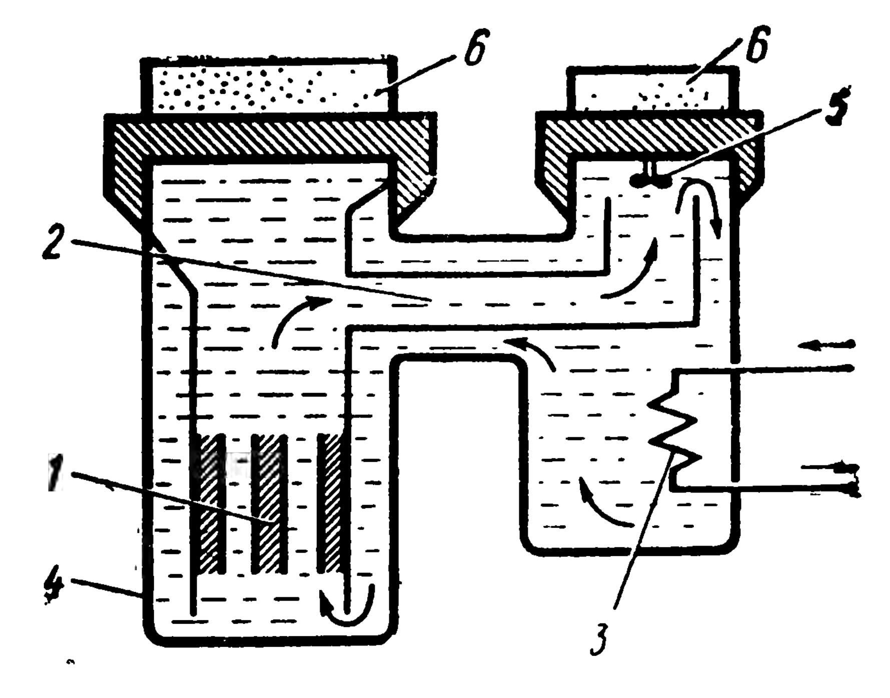


Рис. 129. Схема двухконтурного ядерного реактора:

1 — активная зона; *2* — вода; *3* — теплообменник; *4* — корпус; *5* — насос; *6* — стержни управления.

лучает тепло в ядерном реакторе, а затем отдает его воде. Такими теплоносителями являются обычная вода под давлением, кипящая обычная вода, перегретый пар, углекислый газ или расплавленный металлический натрий.

Из одноконтурных схем наибольшее распространение получили канальные водографитовые реакторы (рис. 128), в которых замедлителем является графит, а теплоносителем — пароводяная смесь. Пар, расширяясь, приводит в движение рабочее колесо турбины, с которой связан ротор электрогенератора. Таким образом, здесь реализуется обычный паротурбинный способ со всеми присущими ему преимуществами и недостатками. Трудность связана с тем, что теплоноситель становится радиоактивным. Хотя вода слабо активируется нейтронами, однако, если в пар попадают газообразные продукты деления, радиоактивность сохраняется.

Опасность радиоактивного заражения теплоносителя заставляет использовать двухконтурную схему. На рисунке 129 показан корпусный водо-водяной реактор, название которого определяется тем, что в нем теплоносителем и одновременно замедлителем является вода. Вода *2*, циркулирующая через активную зону, получает в ней тепло, которое она затем отдает в теплообменнике *3* воде второго контура. Последняя превращается в пар, подаваемый на турбину.

При объяснении устройства атомной электростанции можно использовать настенную таблицу «Атомная электростанция».

Первая в мире атомная электростанция была построена в СССР в 1954 г. в г. Обнинске. В ядерном реакторе на тепловых нейтронах использовался высокообогащенный уран с 5—6-процентным обогащением (при общей массе урана в реакторе

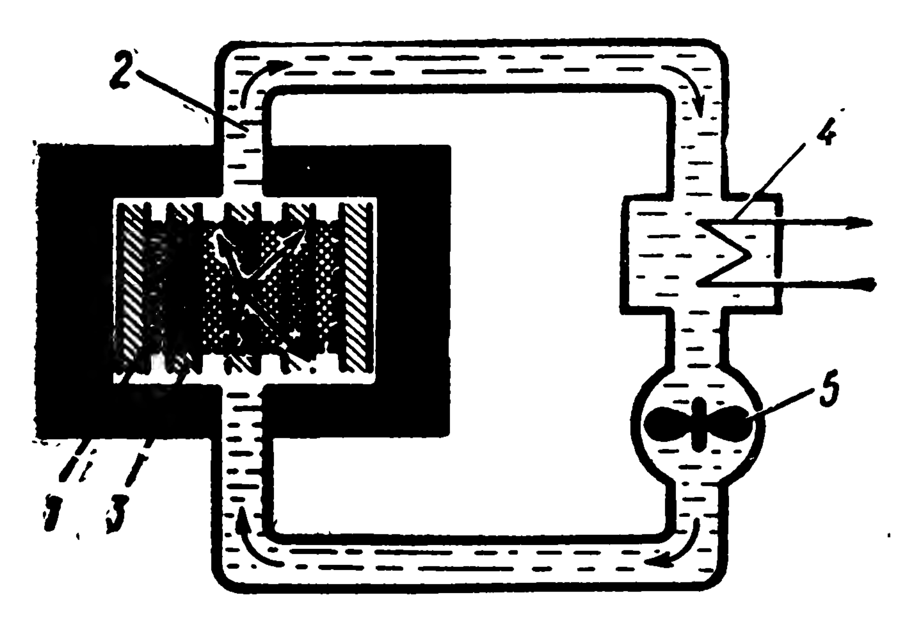


Рис. 130. Схема реактора на быстрых нейтронах:

1 — активная зона; 2 — теплоноситель; 3 — накопитель; 4 — теплообменник; 5 — насос.

550кг ^{235}U составлял 27,5 кг). В качестве замедлителя использовался графит, а теплоносителя — вода. Из общей тепловой мощности в 30 МВт в электрическую мощность превращалось 5 МВт (КПД≈16,5%). Экономические показатели Белоярской АЭС, построенной на Урале в 1963 г., были уже значительно выше. Во-первых, там использовался более дешевый уран с обогащением 1,8%. Кроме того, КПД станции составлял уже 33%, а электрическая мощность двух блоков 300 МВт. На станции использовалась схема с графитовым замедлителем и отводом тепла пароводяной смесью. Данные о некоторых действующих атомных электростанциях приведены в таблице 12, содержание которой учитель должен пояснить.

Очень серьезным недостатком реактора на тепловых нейтронах является то, что там используется лишь малая часть

Таблица 12

Атомная электростанция	Мощность реактора, МВт		Давление пара перед турбиной, МПа	Температура пара перед турбиной, °С	КПД реактора, %	Год пуска
	тепловая	электрическая				
Белоярская им. И. В. Курчатова						
первый блок	286	100	9	500	36,3	1964
второй блок	530	200	9	500	37,8	1967
Нововоронежская им. 50-летия СССР						
первый блок	760	210	2,9	230	27,6	1964
второй блок	1320	365	2,9	230	27,6	1969
третий блок	1375	440	4,5	230	32,0	1971
четвертый блок . .	1375	440	4,5	230	32,0	1972
Шевченковская[1]	1000	350	5	440	35,0	1973
Ленинградская им. В. И. Ленина						
первый блок . . .	3200	1000	7	284	31,3	1973
второй блок	3200	1000	7	284	31,3	1975

[1] Эта электростанция служит для выработки электроэнергии и опреснения морской воды. Энергия, даваемая реактором, позволяет приводить в работу турбогенераторы мощностью 150 МВт каждый и обеспечивать дистилляцию 120 000 м³ воды в сутки.

ядерного горючего, все остальное идет в шлак. Именно поэтому сейчас атомная энергетика постепенно переходит к электростанциям на быстрых нейтронах, сырьем для которых могут быть шлаки тепловых атомных станций.

Схема реактора-размножителя на быстрых нейтронах показана на рисунке 130. В активной зоне содержится смесь ядерного горючего и ^{238}U.

Ядра ^{238}U захватывают быстрые нейтроны, и в результате нескольких ядерных реакций образуется новое атомное горючее — ^{239}Pu:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U + \gamma;$$

$$^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e;$$

$$^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e.$$

Огромный интерес к реакторам-размножителям вызван их совершенно уникальной возможностью вырабатывать не только электроэнергию, но и атомное горючее. В отличие от всех других существующих установок они не только потребляют топливо, но и производят его.

Учитель должен подчеркнуть, что по сравнению с любыми другими электростанциями АЭС имеют следующие преимущества: независимость от источников сырья и огромную (до 1—2 млн. КВт) мощность, получаемую с энергетического реактора.

Необходимо, чтобы учащиеся поняли следующее: удельный вес атомной энергетики, который сейчас относительно невелик, будет резко расти.

Решения XXV съезда КПСС предусматривают опережающее развитие атомной энергетики в европейской части СССР. В текущей пятилетке будет продолжаться строительство Курской, Чернобыльской, Смоленской и других атомных электростанций. Намечено довести мощность Ленинградской АЭС им. В. И. Ленина до 4 ГВт, ввести в эксплуатацию на Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова реактор на быстрых нейтронах.

Рассмотрев этот материал, учащиеся должны понять принципы ядерной энергетики и ее преимущества.

§ 4. ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

Учитель, как правило, на уроках ограничивается лишь объяснением реакций термоядерного синтеза, не касаясь проблем термоядерного синтеза. Однако остановиться на этих вопросах необходимо.

С материалом, который излагается ниже, учащихся целесообразно ознакомить на факультативных занятиях.

Прежде всего следует объяснить, что источником энергии термоядерного синтеза служит внутриядерная энергия. Она выделяется в свободном виде в тех ядерных процессах, которые сопровождаются убылью общей массы участвующих в энергии ядер.

Количественной основой реакций

$$^2_1D + ^2_1D = ^1_0n + ^3_2He,$$
$$^3_1T + ^2_1D = ^4_2He + ^1_0n$$

служит закон взаимосвязи массы и энергии $E = mc^2$, на основании которого по дефекту массы реагирующих ядер можно рассчитать выделяющуюся энергию.

Далее следует привести некоторые соотношения. В 1 моле дейтерия (4 г) содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул или $12 \cdot 10^{23}$ атомов. В 1 г дейтерия находится $3 \cdot 10^{23}$ атомов. Так как на каждое ядро дейтерия может выделиться около 7 МэВ энергии, то при термоядерном сгорании 1 г дейтерия выделится $2{,}1 \cdot 10^{14}$ МэВ энергии.

В 1 л обычной воды содержится примерно 0,03 г дейтерия, что при сгорании дает $6 \cdot 10^{22}$ МэВ или $2{,}4 \cdot 10^6$ ккал. Для сравнения можно сказать, что при сгорании 1 л бензина выделяется 8000 ккал. Следовательно, 1 л обычной воды при «полном термоядерном сгорании» может заменить 300 л бензина.

Учитель должен обратить внимание учащихся на то, что для создания термоядерного реактора необходимо: получение высокотемпературной плазмы ($T \approx 10^8$ К), создание плотного плазменного пучка (плотность $n \approx 10^{14}$ частиц/см^3), удержание высокотемпературной плазмы в течение примерно 1 с.

Для нагревания плазмы используется безэлектродный разряд, а для удержания — магнитное поле разряда и внешние магнитные поля.

Удержание частиц магнитным полем — одна из трудных задач. Учащимся известно, что любая заряженная частица, движущаяся перпендикулярно силовым линиям поля, изменяет свою траекторию на круговую. При этом радиус окружности обратно пропорционален индукции магнитного поля:

$$R \sim \frac{mv}{qB},$$

где m и q — масса и заряд частицы;
v — скорость частицы;
B — индукция магнитного поля.

Естественно, что на движение частицы вдоль силовых линий магнитное поле влияния не оказывает. В общем случае, когда направление первоначальной траектории частицы составляет некоторый угол с направлением магнитных силовых линий, результирующая траектория имеет вид как бы навитой на силовую

линию спирали. Направление вращения зависит от знака заряда частицы и от направления магнитного поля.

Таким образом, магнитное поле ограничивает поперечное движение частиц. Но, ограничив их перемещение поперек силовых линий, оно не препятствует винтовому движению вдоль этих линий и уходу частиц по торцам воображаемого сосуда. Для того чтобы предотвратить вылет частиц через торцы, есть две возможности. Одна из них очевидна: нужно свернуть магнитные линии в форме бублика, образовав тороидальную систему, у которой нет торцов.

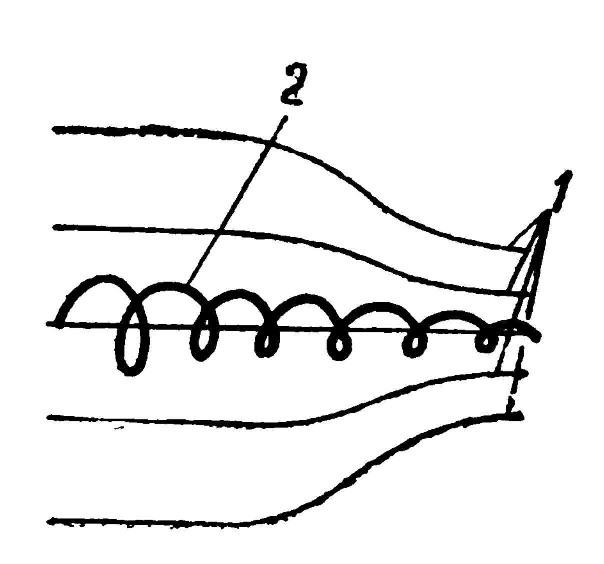


Рис. 131. Движение заряженной частицы в магнитной ловушке:
1 — силовые линии поля; 2 — траектория частицы.

Другая возможность — усилить магнитное поле на концах камеры, и тогда получится так называемая магнитная ловушка с пробками, в которой частицы, дойдя до области сгущения силовых линий, отразятся обратно (рис. 131).

Однако магнитные пробки непрактичны. Быстрые частицы, направление движения которых близко к направлению магнитных силовых линий, легко вылетят через них.

Из существующих термоядерных установок наиболее перспективными считаются тороидальные термоядерные установки.

Желательно разобрать с учащимися конкретную схему то-

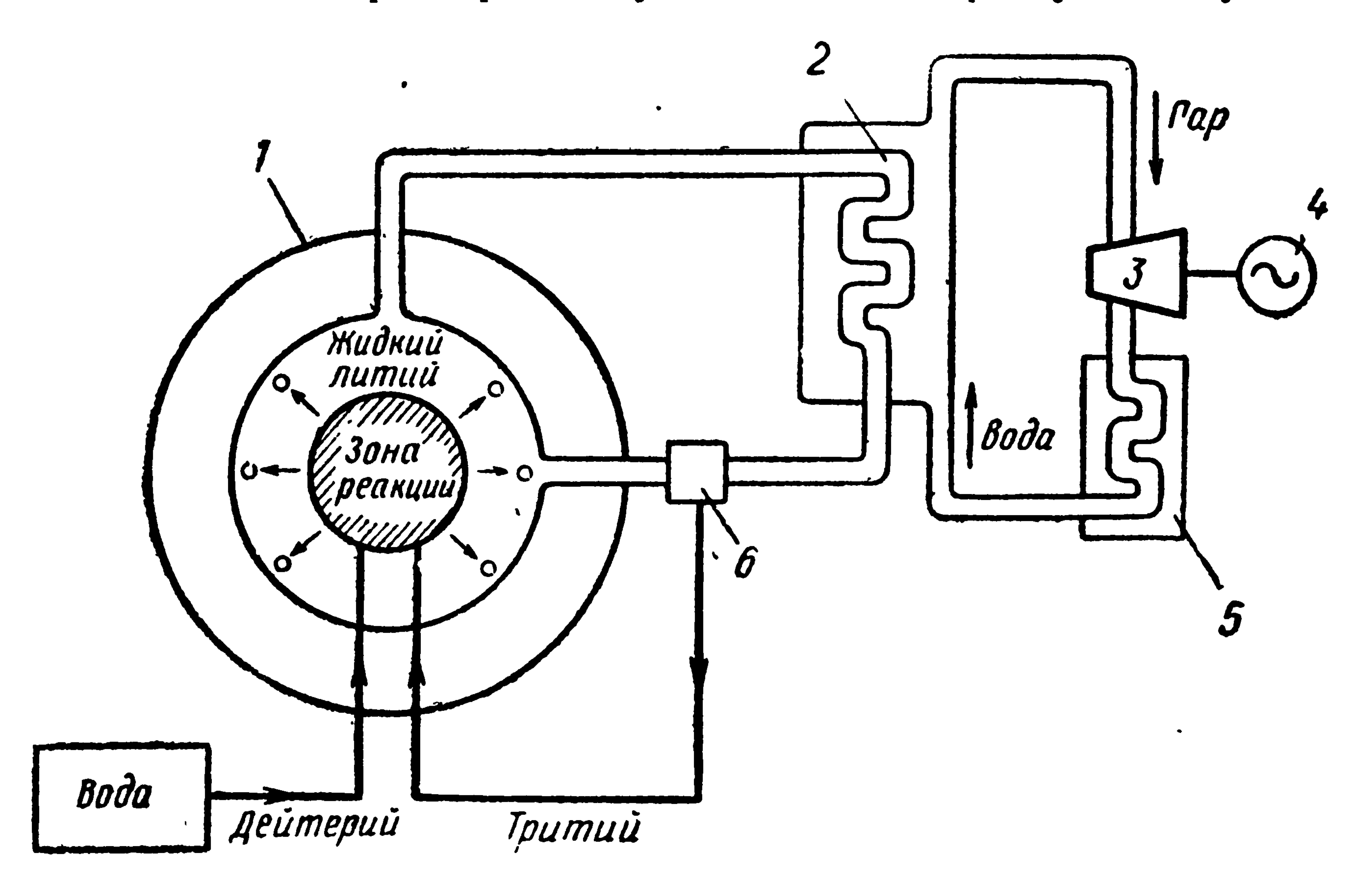


Рис. 132. Схема установки типа «Токамак»:
1 — экран; 2 — теплообменник; 3 — турбина; 4 — генератор; 5 — конденсатор; 6 — сепаратор трития.

роидальной установки, например установки «Токамак-10» (рис. 132), созданной в СССР в 1975 г. В ней используется тороидальная камера, основную энергию термоядерного синтеза несут быстрые нейтроны. Реактор окружен оболочкой из химических соединений лития. При реакции нейтрона с литием образуется тритий, необходимый для работы реактора.

Плотность плазмы в «Токамаке-10» такая же, как в будущих энергетических реакторах, а время удержания плазмы еще не достигло требуемой величины. На этой установке может быть получена плазма с температурой около 20 млн. К, что всего лишь в 4—5 раз меньше, чем необходимо для термоядерного реактора.

Установка «Токамак-10» — сложное техническое сооружение. Основные ее характеристики таковы: большой радиус тора 150 см, радиус плазменного шнура 35 см, объем плазмы — около 5 м^3. Эта установка работает отдельными импульсами длительностью в несколько секунд.

После рассмотрения этого материала учащиеся должны усвоить основные принципы термоядерной энергетики.

§ 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПОВ

Пуск в 1946 г. первого в СССР атомного реактора явился не только кардинальным шагом в энергетике, но и определил развитие нового направления в технологии — использование изотопов в различных областях производства, так как уже в 1948 г. на этом реакторе началось производство радиоактивных изотопов для нужд народного хозяйства. В настоящее время радиоактивные изотопы получают в реакторах и на циклотронах.

Изотопы в промышленности. Самое разнообразное применение изотопы нашли в различных отраслях промышленного производства, прежде всего в металлургии, одним из главных направлений которой является производство чистых и высококачественных металлов. Наличие примеси заметно ухудшает качество металла, например, очень вредно присутствие в металле серы.

С помощью метода радиоактивных изотопов удалось выяснить, как сера проникает в металл, и наметить пути борьбы с этим явлением. Качество выплавляемого металла резко повысилось после очистки газа от серы.

Другим важным вопросом, решенным в металлургии с помощью метода радиоактивных изотопов, было определение времени, в течение которого легирующий металл полностью распространяется по объему стали. Точное знание этого времени необходимо для изготовления высококачественных легированных сталей.

Широко применяются изотопы для определения толщины проката при его непрерывном производстве. Разработанный советскими учеными измеритель толщины проката бесконтактным

методом позволяет измерять толщину легированных и углеродистых сталей от 0,08 до 0,8 мм с высокой степенью точности.

При помощи изотопов, дающих сильное γ-излучение, можно контролировать толщину изделий с точностью до 200—300 мкм. Для этой цели используются радиоактивные кобальт или цезий.

Весьма трудной задачей машиностроения является определение степени износа узлов различных механизмов. Применение традиционных методов весьма трудоемко, кроме того, оно требует прерывания технологического процесса для выполнения измерений. В течение многих десятилетий ученые пытались найти наилучшие пути решения этой проблемы. Сейчас признан наиболее эффективным метод контроля износа узлов с применением радиоактивных изотопов.

Если исследуемую деталь покрыть металлом, содержащим радиоактивный изотоп, то по уровню радиоактивного излучения можно определить степень износа без остановки оборудования. Такой метод применяется, например, при контроле узлов деталей, входящих в двигатель внутреннего сгорания. При производстве автомобилей и тракторов необходимо знать, как быстро снашиваются поршневые кольца в различных режимах работы. Для выяснения этого контролируется уровень радиоактивности смазки, омывающей поршневые кольца, содержащие радиоактивный изотоп. Если уровень радиоактивности смазки повышается, значит, усиливается процесс износа, наоборот — при его уменьшении износ незначителен. Аналогичным образом можно исследовать износ различных режущих инструментов при токарных, фрезерных и сверлильных работах.

Важное преимущество метода радиоактивных изотопов — его абсолютная независимость от внешних условий: вибрации, температуры и т. д.

Изотопы в сельском хозяйстве. Во многих отношениях использование изотопов оказалось перспективным для сельского хозяйства. Прежде всего изотопы позволили изучить ряд процессов, происходящих в растениях, которые невозможно было исследовать другими методами. Так, например, было обнаружено, что кислород, выделяющийся в процессах фотосинтеза и биологической деятельности растений, образуется при фотолизе воды, а не из углекислоты, как считалось раньше. Метод меченых атомов позволил проследить за передвижением питательных веществ в растениях и усвоением их отдельными его частями.

Другое важное направление — радиационная обработка зерновых и клубневых растений. Радиационное облучение убивает вредителей зерна, а облученные картофель и лук не прорастают более длительное время, чем необлученные. В результате радиационной обработки уменьшаются потери зерна из-за поражения его насекомыми и значительно увеличиваются сроки хранения продуктов. Кроме того, облучение зерна перед посе-

вом сказывается на повышении урожайности растений и ускорении их созревания.

Изотопы в медицине. За последние годы широкое развитие получили рентгенорадиологические методы диагностики и лечения, использующие радиоактивные изотопы в качестве индикаторов скорости протекания различных процессов и источников излучения.

Так, например, изотоп иода (иод-131) позволяет изучить функции щитовидной железы. С помощью других радиоактивных изотопов (ксенона-133, ртути-203, золота-198 и др.) исследуются функции других желез внутренней секреции, а также почек. При помощи меченых атомов определяют скорость кровотока в большом и малом круге кровообращения, сердечный объем, а также решают ряд других задач, весьма важных для современной медицины.

В Советском Союзе созданы мощные источники γ-излучения, позволяющие лечить опухоли и раковые заболевания. Таким образом, изотопы нужны не только промышленности и сельскому хозяйству, но и служат здоровью людей.

При объяснении этого материала желательно продемонстрировать диапозитивы «Применение меченых атомов в медицине». Можно также показать диафильм «Применение радиоактивных изотопов в промышленности, сельском хозяйстве и медицине», а также некоторые диапозитивы из серии «Использование ядерных процессов в народном хозяйстве». Этой же цели служит кинофрагмент «Применение меченых атомов».

Изучив материал этого параграфа, учащиеся усвоят основные возможности технического использования радиоактивных изотопов.

ЛИТЕРАТУРА

Глазунов А. Т. Изучение элементов ядерной техники в средней школе. — «Физика в школе», 1973, № 2.

Мухин К. Н. Занимательная ядерная физика. М., Атомиздат, 1972.

Перспективы использования атомной энергии. Сборник статей. М., «Знание», 1973.

Саранцев В. П. Ускорители будущего. М., «Знание», 1973.

ГЛАВА VII

ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ В ОБОБЩАЮЩЕЙ ЛЕКЦИИ

Главной задачей проведения в X классе обобщающей лекции «Физика и научно-техническая революция» является обобщение знаний, полученных учащимися при изучении курса физики средней школы. Эта лекция будет более эффективна, если в ней показано влияние физики на современную технику, проведено обобщение и углубление политехнических знаний учащихся.

Желательно начать лекцию с объяснения основных черт связи физики и научно-технической революции, а затем перейти к раскрытию влияния физики на конкретные направления технического прогресса.

Прежде всего учитель должен остановиться на одной из характерных черт современной научно-технической революции — усилении взаимосвязи естествознания (в первую очередь физики) и техники. Эта черта имеет свои особенности, из которых наиболее существенны три. Первая из них заключается в том, что в отличие от технических революций прошлого сейчас важное условие технического прогресса — опережение физикой техники: в наше время создание технических устройств без соответствующих теорий невозможно. Для сравнения полезно вспомнить некоторые примеры из истории развития техники: в XVIII в. паровой двигатель был создан на основании эмпирических расчетов, и только несколькими десятилетиями позже появились работы С. Карно, положившие начало теории тепловых двигателей; М. Фарадей создавал в XIX в. прообразы электрических машин, основываясь на гениальных догадках, значительно опережая теорию электромагнитных колебаний Д. Максвелла.

Конечно, и раньше ряд технических устройств строился на базе физических исследований, однако большая часть приборов

и установок создавалась эмпирическим путем, методом «проб и ошибок». Сейчас такое положение немыслимо: например, невозможно представить конструкторов ракетных кораблей, строящих свои расчеты без использования работ по теоретической механике, а конструкторов атомной электростанции, ничего не знающих о критической массе ядерного горючего. Эмпирическим путем невозможно было создать транзистор, лазер, электронно-вычислительную машину. Безусловно, что и в будущем физика будет опережать инженерные расчеты и стимулировать развитие техники.

Вторая особенность взаимосвязи физики и техники в настоящее время состоит в том, что происходящие в них изменения слились в один процесс. Разбирая эту особенность с учащимися, следует обратить их внимание на то, что сейчас зачастую бывает трудно определить, какое открытие сделано — физическое или техническое — и где оно будет полезней — в «чистой» науке или ее прикладных областях. Например, лазер является принципиально новым прибором не только для физики, но и для техники, так как его появление открыло неизвестные ранее горизонты в технологии обработки материалов, технике связи, локации и даже в важнейшей проблеме энергетики — получении управляемой термоядерной реакции.

Третья характерная черта взаимосвязи науки и техники заключается в том, что в настоящее время происходит влияние физики и техники друг на друга.

Для иллюстрации можно привести, в частности, такие примеры: появление электронно-вычислительных машин позволило решить много сложнейших физических задач, до этого считавшихся неразрешимыми; вывод на орбиту искусственных спутников повлек за собой постановку огромного числа экспериментов по физике космических частиц (бо́льшая часть последних, как известно, поглощается атмосферой); строительство мощнейших ускорителей дало возможность обнаружить новые элементарные частицы и определить законы их взаимодействия; создание радиотелескопов привело к обнаружению новых звезд и космических объектов, что значительно способствовало развитию астрофизики.

В целом физике, безусловно, принадлежит авангардная роль во влиянии на технику и технологию. Следствием достижений различных областей физики стало создание новых материалов (например, ферритов, сверхпроводников), новых способов преобразования энергии (в частности, рождение атомных реакторов, МГД-генераторов).

Основными направлениями современной научно-технической революции являются: автоматизация, создание принципиально новых материалов, открытие новых путей преобразования энергии, широкое внедрение электронно-вычислительных машин. Во всех этих направлениях наиболее сильно сейчас проявляется

влияние физики; именно их и необходимо рассмотреть на обобщающей лекции.

Физика и автоматизация. При изучении физики в VIII—X классах были разобраны некоторые основные принципы автоматики (в частности, важнейший из них — наличие обратной связи), рассмотрены некоторые виды автоматических усилителей, трансформаторов, регуляторов.

Обобщающая лекция дает учителю прекрасную возможность показать основные этапы развития автоматики, указать на главенствующую роль автоматизации в современном производстве. Многие учащиеся неверно считают, что развитие автоматизации началось относительно недавно, поэтому полезно сказать несколько слов об ее истории, которая насчитывает более двух тысячелетий.

По известным сейчас данным, одним из первых автоматических устройств был созданный в 230 г. до н. э. Пилоном регулятор уровня для масляной лампы. В течение двух тысячелетий вплоть до XVIII в. было построено довольно много механических автоматических устройств. Но подлинная революция в автоматизации произошла в конце XVIII в., когда Д. Уаттом была изобретена паровая машина с центробежным регулятором, давшая толчок многим изобретениям и открытиям. Одним из наиболе распространенных автоматов стали механические часы. В дальнейшем усовершенствование часов в определенной степени отражало уровень развития техники (сейчас, как известно, существуют часы электронные, кварцевые, атомные и др.). Но, конечно, определяющее значение для развития автоматизации имело появление электротехники и электроники.

Автоматизация — это основа современного производства, во многом изменившая труд людей. На обобщающей лекции в качестве примеров использования автоматических устройств можно привести такие: автоматическое регулирование температуры в мартеновской печи, числа оборотов в паровой турбине, громкости в радиоприемнике и т. д.

Нужно объяснить учащимся, что сейчас автоматизированными принято считать только операции, где весь процесс осуществляется без помощи человека. В нашей стране в широких масштабах происходит переход от фабрично-машинного к полностью автоматизированному производству.

Максимальная автоматизация трудовой деятельности человека и является важнейшей составной частью современной научно-технической революции.

Таким образом, одним из направлений развития техники и производства служит процесс передачи трудовых функций человека техническим средствам, что значительно повышает производительность труда.

Тенденции развития автоматизации следующие: от машин-автоматов через автоматические линии к заводам-автоматам.

Сейчас повсеместно осуществляется автоматизация не только ручной деятельности человека, но и его умственных функций — автомат, связанный с электронно-вычислительной машиной, все чаще выполняет контроль и управление производством.

В заключение нужно отметить, что развитие автоматизации во многом определило появление кибернетики, бионики и некоторых других научных и технических дисциплин.

Физика и энергетика. В курсе физики вопросам энергетики уделяется серьезное внимание. Учащиеся знакомятся с элементами гидроэнергетики, тепловой и атомной энергетики. В обобщающей лекции учитель может остановиться на связи физики и энергетики, показать преимущества, недостатки и перспективы различных способов производства энергии.

Этапы развития энергетики в определенной степени соответствовали истории становления физической науки. Первые энергетические установки (ветряные и водяные мельницы) строились в ту пору, когда была наиболее развита механика. В XIX в. бурное развитие термодинамики и электротехники привело к созданию тепловых и гидроэлектростанций, которые и по сегодняшний день производят бóльшую часть электроэнергии. Развитие ядерной физики определило создание первых атомных электростанций (тут нужно еще раз объяснить учащимся, что атомная электростанция в принципе аналогична тепловой, только источником тепла является не химическая энергия топлива, а энергия связи нуклонов). В течение ближайших десятилетий доля атомных электростанций в общем производстве электроэнергии будет все более увеличиваться. Важную роль играет тот факт, что на наиболее экономичных из существующих атомных электростанций стоимость 1 кВт·ч электроэнергии равна его стоимости на тепловых станциях. Запасы органического топлива (уголь, нефть, газ) и ядерного горючего ограниченны, поэтому надежды человечества связаны с развитием термоядерной энергетики.

В заключительной лекции нужно остановиться еще на одном преимуществе ядерных и термоядерных установок. Атомные электростанции по сравнению с тепловыми значительно меньше загрязняют окружающую среду, они не выбрасывают в атмосферу окись углерода, серу и другие продукты химических реакций. С этой точки зрения более перспективными будут термоядерные установки, которые еще менее опасны для окружающей среды. Термоядерная энергетика будущего не только обеспечит человечество энергией на весьма длительный срок, но и будет способствовать очищению биосферы от вредных веществ.

Заканчивая рассказ о связи физики и энергетики, нужно обратить внимание школьников на то, что энергетика служит основой современного производства. Наша страна в соответствии с директивами развития народного хозяйства, принятыми

XXV съездом КПСС, добивается опережающего развития энергетики по сравнению с другими отраслями народного хозяйства.

Физика и создание новых материалов. Важным направлением современного научно-технического прогресса является создание новых материалов. И здесь важное значение имеют физические исследования, которые приводят к созданию тех материалов, которые необходимы современной технике и технологии. На основе физических исследований создаются новые конструкционные, полупроводниковые, сверхпроводящие, магнитные и другие материалы. Например, для машиностроения большое значение имеет решение проблемы, связанной с повышением прочности стали. Здесь помощь промышленности оказали исследования в металлофизике. Было определено, что прочностные свойства металлов зависят от наличия в стали различного рода дефектов: дислокаций, примесей, нарушающих правильную кристаллическую структуру стали; намечены конкретные способы повышения прочностных свойств, один из которых связан с одновременным механическим и тепловым воздействием на металл в процессе изготовления изделия.

Таким образом, физические методы исследования позволили не только определить причину низких прочностных свойств, но и найти пути улучшения этих свойств. Все это позволило поднять прочность стали в несколько раз.

В обобщающей лекции нужно кратко остановиться и на развитии производства полупроводниковых материалов. Изучение строения и структуры основных полупроводниковых промышленных материалов — кремния, германия, арсенида галия — позволило получить новые полупроводниковые материалы, применение которых привело к коренным изменениям в электронной технике.

Важной народнохозяйственной задачей, решаемой сейчас с использованием полупроводниковой техники, является выпрямление переменного тока. Созданные за последнее время полупроводниковые приборы (так называемые управляемые вентили) позволяют не только преобразовывать переменный ток в постоянный, но и в довольно широких пределах регулировать величину постоянного тока.

Все шире используются полупроводниковые термопреобразователи, которые, несмотря на свой низкий КПД (10%), имеют весьма малые габариты и массу, что позволяет с успехом применять их в небольших установках. Здесь важно подчеркнуть и то, что замена полупроводниковыми приборами электронно-вакуумной техники приводит к понижению потребляемой мощности и увеличению надежности установок. Открытие в 1911 г. явления сверхпроводимости определило поиски технических приложений этого удивительного физического эффекта. Перспективным считается прежде всего использование сверхпроводников

для передачи электрической энергии и для создания сильных магнитных полей.

При передаче электрической энергии применение сверхпроводящих материалов позволит передавать большие энергетические мощности без тепловых потерь. Уже созданы небольшие экспериментальные линии (их длина — десятки метров), на которых изучаются перспективы этого способа передачи электроэнергии. Сложность здесь обусловлена тем, что пока самый «теплый» сверхпроводник сохраняет свои свойства при температуре не выше 23 К. Охлаждение материалов до такой температуры возможно лишь при использовании жидкого водорода, что весьма дорого. Поэтому главная задача физических исследований в этом направлении связана с поиском сверхпроводников, которые смогли бы работать при более высоких температурах, хотя бы при температуре жидкого воздуха (78 К), который гораздо дешевле.

В будущем использование сверхпроводящих материалов приведет к созданию сверхпроводящих электрических машин большой мощности. Как известно, при увеличении мощности электрических генераторов и двигателей резко растут их габариты, так как при заданной мощности объем машин определяется величиной создаваемого магнитного поля. Если, например, в мощном генераторе вместо традиционной обмотки с железным сердечником использовать сверхпроводящую обмотку, то это даст выигрыш не только в величине тока (а следовательно, и в индукции магнитного поля), но и в габаритах. Предварительные исследования, проведенные в нашей стране, показывают, что сверхпроводящий генератор мощностью около 2,5 ГВт будет иметь вдвое меньшие размеры, чем генератор обычного типа. Важно и другое: электрические потери в нем снизятся в 2 раза, а масса ротора — в 10 раз. Таким образом, явление сверхпроводимости в ближайшем будущем начнет «работать» в технике.

При разработке способов технического применения явления сверхпроводимости нужно обратить внимание школьников на то, что здесь мы имеем дело с ярко выраженным примером задания, которое техника дает физике. Техническая потребность создания «теплых» сверхпроводников определяет направление некоторых физических исследований. Здесь еще раз прослеживается взаимосвязь физики и техники в условиях современного научно-технического прогресса.

Физика и вычислительная техника. Математика и физика являются основами современной вычислительной техники. И если математика обеспечивает логическую структуру вычислительной техники, то техническую сторону, связанную с конструкцией вычислительных машин, определяют физика и некоторые прикладные науки. В определенной степени история развития вычислительной техники отражает развитие физики.

Из школьного курса учащиеся имеют представление о том, что до XIX в. наиболее развитой областью физики была механика. Нужно объяснить им, что именно поэтому первые вычислительные машины были механическими, позже — с развитием электромеханики появились счетные машины, работающие на электромеханическом реле. Но и механические и электротехнические машины обладали одним серьезным недостатком: малой скоростью вычислений. Только создание электронных ламп, а на их основе ЭВМ, привело к качественному скачку в развитии вычислительной техники.

Но, что еще более важно, появление ЭВМ определило принципиально новую тенденцию современной научно-технической революции, а именно замену машиной логических функций человека.

Хотя история электронно-вычислительной техники и насчитывает всего около 30 лет, тем не менее в ее развитии уже можно выделить несколько этапов, как принято говорить, сменилось несколько «поколений» ЭВМ.

В 40—50-х годах были созданы электронно-вычислительные машины первого поколения, представляющие собой довольно малонадежные устройства, собранные на базе электронных ламп. Хотя их нельзя еще было применять в широких масштабах для целей управления, они позволяли производить некоторые громоздкие инженерные расчеты и, что более важно, заставили изменить представления о возможностях технических устройств.

Создание и широкое внедрение в технику полупроводников позволило создать ЭВМ второго поколения, имеющие полупроводниковую элементарную базу. Эти машины были надежнее, обладали большей «памятью» и быстродействием; скорость вычислений у них составляла несколько десятков и сотен тысяч операций в секунду (у ЭВМ первого поколения она была на порядок меньше). И если машины первого поколения использовались в основном для решения научных задач, то возможности машин второго поколения позволили применять их в сфере управления и экономики, где в 60-е годы было занято около 80% всех ЭВМ.

Машины третьего поколения, созданные в конце 60-х годов, выполнялись на интегральных схемах, в результате чего стало возможным заменить огромные блоки миниатюрными элементами. Принципиальной отличительной чертой этих машин была та, что они позволили вести диалог «человек — машина».

Другая важная черта этого класса машин — возможность одновременного решения ими большого числа задач. На базе машин третьего поколения были созданы автоматизированные системы управления (АСУ), определяющие экономическое руководство целыми отраслями народного хозяйства (эта область

использования электронно-вычислительных машин очень эффективна — ведь машина в своей «памяти» может хранить огромный цифровой материал).

В 1976—1980 гг. намечается еще более широкое использование автоматизированных систем управления в промышленности и сельском хозяйстве нашей страны.

Сейчас создаются машины четвертого поколения, обладающие еще более емкой памятью и еще большим быстродействием. В них используются миниатюрные элементы, предполагается применение оптоэлектроники и лазерной техники (в частности, для хранения информации предполагается использовать голограммы). Использование машин четвертого поколения даст возможность объединить отдельные машины в единые вычислительные системы, в перспективе предполагается создание единой общегосударственной системы сбора и обработки информации.

Электронно-вычислительные машины находят самое широкое применение во многих областях экономики, техники и производства: для поиска, хранения и обработки информации; для статистического учета, управления и планирования. Внедрение ЭВМ дает существенный экономический эффект (например, в области экономики оптимальные планы, рассчитанные на ЭВМ, оказываются на 20% эффективней планов, рассчитанных традиционными методами).

Возрастает число научных применений ЭВМ, причем все чаще использование этих устройств позволяет решать важнейшие теоретические задачи. Например, с помощью ЭВМ в космонавтике рассчитываются орбиты спутников и космических кораблей, в биологии был расшифрован генетический код, что явилось одним из самых ярких открытий XX в., в медицине успешно проводится диагностика различных заболеваний, решается с помощью ЭВМ и ряд задач общественных и гуманитарных наук (социологии, истории, лингвистики и др.).

Вопросы использования электронно-вычислительных машин и автоматизации могут быть продемонстрированы учащимся с помощью диапозитивов из серии «Физика и научно-технический прогресс».

Таким образом, на обобщающей лекции учитель имеет возможность объяснить многие важные вопросы современной физики и техники, а также показать основные черты их взаимосвязи.

ЛИТЕРАТУРА

Башкиров Ю. А., Горелик В. С., Захаров С. Д. Физика — народному хозяйству. М., «Знание», 1976.

Глазунов А. Т. Обобщающая лекция «Физика и научно-технический прогресс». — «Физика в школе», 1976, № 2.

Родионов В. М., Черепнев А. И. Естествознание и техника. М., «Знание», 1974.

Розенберг М. И. Методика преподавания в X классе лекции «Физика и научно-техническая революция». — «Физика в школе», 1973, № 3.

Современная научно-техническая революция. Историческое исследование. М., «Наука», 1970.

Турченко В. Н. Научно-техническая революция и революция в образовании. М., Политиздат, 1973.

Фабрикант В. А. Научно-техническая революция и школьное физическое образование. — «Физика в школе», 1974, № 6.

СОДЕРЖАНИЕ

ИБ № 954

Анатолий Тихонович Глазунов

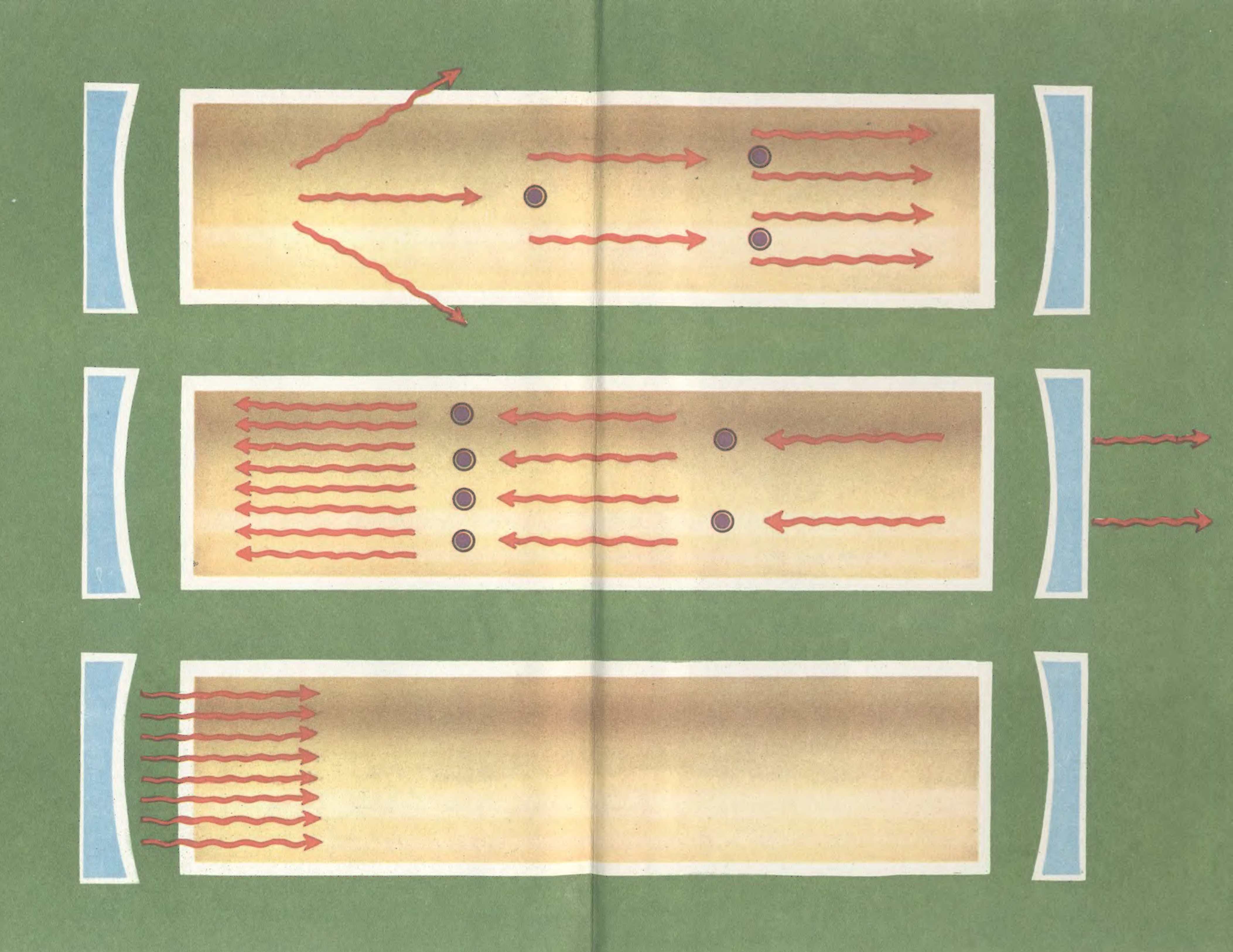
ТЕХНИКА В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Редактор В. А. Обменина
Художник С. Ф. Лухин
Художественный редактор В. М. Прокофьев
Технический редактор М. М. Широкова
Корректор Л. П. Михеева

Сдано в набор 4/II 1977 г. Подписано к печати 20/VI 1977 г. 60×90[1]/16. Бумага типограф. № 1. Печ. л. 10+0,125 вкл.+0,25 печ. л. форзаца. Уч.-изд. л. 10,06+0,13 вкл. +0,47 форзаца. Тираж 101 тыс. экз. А02256.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано с матриц типографии им. Смирнова Смоленского облуправления на Калининском ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинате детской литературы им. 50-летия СССР Росглавполиграфпрома Госкомиздата Совета Министров РСФСР. Калинин, проспект 50-летия Октября, 46. Заказ № 644.
Цена 50 коп.



50 коп.

